



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA**

UNAN - MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA

SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO.

**ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA GEOLÓGICA DE LA ZONA NW Y SW DEL MAPA TOPOGRÁFICO
LARREYNAGA, (PERTENECIENTE A LA HOJA N° 2854II), A ESCALA 1:50000.**

ELABORADO POR: BR: YOHANA DEL SOCORRO MENDOZA VELÁSQUEZ.

CARNET N0 .10045298.

BR: LESBIA MARLETH SÁNCHEZ ROJAS.

CARNET N0. 10044264.

TUTOR: MSC. GEMA VELÁSQUEZ.

MANAGUA, 2017

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente nuestro trabajo a Dios.

A mis padres, Juan Mendoza Trujillo y María Magdalena Velásquez Espinoza, quienes con tanto amor han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, los cuales me han ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mi esposo Kevin Missael Artica Cárdenas e hijo Keventh Matias Artica Mendoza, por su inmenso amor, por ser parte de la maravillosa familia que hemos formado y por sus buenos deseos de motivación para el desarrollo de este logro tan importante para mi vida.

De manera muy especial a mi hermana Alejandra Paola Mendoza Velásquez y demás hermanos quienes con sus consejos y buenos deseos han contribuido en la finalización de este hermoso trabajo.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Br. Yohana del Socorro Mendoza Velásquez.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlos cada día más.

A mis padres por ser las personas que me han apoyado en toda la trayectoria estudiantil y ser la persona que soy hoy en día; a mis tías quienes han velado por mí durante este arduo camino para convertirme en una profesional.

De igual manera a mis amistades por el apoyo moral que me han dado para seguir adelante con mi carrera profesional.

Br. Lesbia Marleth Sánchez Rojas.

AGRADECIMIENTOS.

A **Dios**, por darme la vida, la salud, la sabiduría y el conocimiento, para poder culminar una de las principales metas en mi vida, como es mi carrera profesional y a mi familia que, con su eterno apoyo me han llenado de sus consejos y sus motivaciones para hacer posible este propósito.

De manera muy especial agradezco a mi padre **Juan Mendoza** quien con sus consejos y sus recomendaciones fue un elemento muy importante en nuestra etapa de campo.

Especialmente a mis mejores amigas **Alejandra Amaya, Lesbia Sánchez y Jael Pérez**, por su valiosa amistad y ayuda incondicional, donde juntas hemos pasado inexplicables experiencias a lo largo de nuestra formación profesional.

Al profesor **Glend Hodgson** por ser el principal apoyo ya que fue de él que surgió la idea de nuestro tema para seminario de graduación y al profesor **Francisco Espinoza** quien, con sus consejos y excelentes sugerencias, contribuyeron al mejoramiento de este trabajo.

A nuestra tutora **Gema Velásquez** por dedicar su tiempo, paciencia y dedicación durante el desarrollo de nuestro seminario de graduación.

Al Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua), por darnos su apoyo con la facilitación de equipos para finalizar y presentar nuestro trabajo, muy especialmente a la profesora **Máyela Martínez** por su tiempo, apoyo y dedicación en la descripción de las secciones delgadas.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en el proceso de la realización de este trabajo.

Br. Yohana del Socorro Mendoza Velásquez.

AGRADECIMIENTOS.

Le agradezco a **Dios** sobre todas las cosas, a mis padres **Lesther Sánchez y Elbia Rojas** que sin duda alguna me han dado el apoyo, la confianza y el amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos, a mi hermana por ser un pilar fundamental y enseñarme a salir adelante en las adversidades.

De manera muy especial al señor **Juan Mendoza** por sus consejo y tiempo. A todos mis amigos, pero de manera especial a **Johana Mendoza, Jael Pérez y Alejandra Amaya** quienes trabajaron de manera ardua en este proyecto.

Agradezco de igual manera a todas esas personas que de una u otra manera aportaron para el desarrollo del proyecto, a los maestros quienes brindaron sus conocimientos durante estos 5 años. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Br. Lesbia Marleth Sánchez Rojas.

RESUMEN.

El área de estudio perteneciente a la hoja topográfica de Larreynaga, se ubica al NW de Nicaragua en una zona de transición entre el margen nororiental de la Depresión nicaragüense y el arco volcánico Terciario, dentro de la Provincia Meridional de América Central.

Litológicamente el área de estudio está constituida por un basamento de coladas de composición andesítica de edad Terciarias, subyacidas por lavas de composición dacíticas, basálticas, aglomerados, depósitos de piroclastos y sedimentos aluviales. Geomorfológicamente, en el área se observó un relieve muy bien marcado compuestos por cadenas volcánicas Terciarias con alturas de 200-600 msnm, que poseen dirección N-S NE-SW.

Estructuralmente, Larreynaga está controlada por la actividad tectónica entre la placa de Cocos y la placa del Caribe, que con su mecanismo de subducción provocó esfuerzos de extensión y compresión, originando bloques fallados con movimientos verticales, transtensionales y estructuras volcánicas semicirculares. El análisis e interpretación de los datos estructurales permitieron definir la sucesión de eventos tectónicos locales, los que se clasificaron en tres fases de fallamiento: **N-S**, **NW-SE**, **NE-SW**, en las que se observó que las estructuras geológicas presentan una rotación en sentido de las manecillas del reloj, de N-S a NE-SW de bajo ángulo.

Las rocas se encuentran afectadas por alteración hidrotermal, en las que se definieron tres principales tipos de alteración: propilitización, agilización silicificación.

ÍNDICE

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCION.	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	2
1.2 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	3
1.3 ANTECEDENTES	5
1.4 JUSTIFICACIÓN	7
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.6 METODOLOGÍA.	8
1.6.1 TRABAJO DE GABINETE.	8
1.6.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO	13
CAPITULO II.....	14
2.1 TECTÓNICA DE AMÉRICA CENTRAL Y NICARAGUA.....	14
2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE NICARAGUA.	15
2.3 GEOLOGÍA REGIONAL DE NICARAGUA.	16
2.2.1 PROVINCIA DE LA COSTA DEL PACIFICO.	17
2.2.2 PROVINCIA DE LA DEPRESIÓN DE NICARAGUA.....	18
2.2.3 PROVINCIA CENTRAL DE NICARAGUA.....	18
2.2.4 PROVINCIA DEL NORTE.....	19
2.2.5 PROVINCIA DE LOS LLANOS DE LA COSTA ATLÁNTICA.	19
CAPITULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	20
3.1 GEOLOGÍA LOCAL.	20
3.1.1 UNIDAD DE ANDESITA. (TMCA).....	21
3.1.2 UNIDAD DE DACITA (TMCD)	23
3.1.3 UNIDAD DE COLADAS DE LAVAS DE COMPOSICIÓN BASÁLTICAS (TPCB).....	26
3.1.4 UNIDAD DE LAVA Y AGLOMERADO (TPCL).....	30
3.1.5 UNIDAD DE TOBA (QV).	32
3.1.6 UNIDAD DE SEDIMENTOS ALUVIALES (QAL)	33
3.2 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL.....	34
3.2.1 ALTERACIÓN PROPILÍTICA.	35
3.2.2 ALTERACIÓN ARGÍLICA	35
3.2.3 ALTERACIÓN POR SILICIFICACIÓN.	36

4.1 GEOMORFOLOGIA	37
4.1.1 UNIDAD DE ORIGEN DENUDACIONAL (D)	38
4.1.2 UNIDAD DE ORIGEN VOLCÁNICO (V)	40
4.1.3 UNIDAD DE ORIGEN ESTRUCTURAL (S)	43
4.1.4 UNIDAD DE ORIGEN FLUVIAL (F)	44
5.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	44
5.2 DEFINICIONES TEÓRICAS.....	45
5.2.1 CRITERIO DE CIZALLA.....	47
5.3 INDICADORES CINEMÁTICOS:	48
<input type="checkbox"/> FRACTURAMIENTO CONJUGADO.....	49
<input type="checkbox"/> PLIEGUES.....	53
5.4 FASES DE FALLAMIENTO	54
5.4.1 FASE DE FALLAMIENTO N-S.....	54
5.5.2 FASE DE FALLAMIENTO NW-SE.....	61
5.5.3 FASE DE FALLAMIENTO NE-SW.....	67
5.6 ESTRUCTURAS VOLCÁNICAS CIRCULARES Y SEMICIRCULARES.	77
 CONCLUSIÓN.....	 82
 RECOMENDACIONES.....	 84
 BIBLIOGRAFÍA.....	 85
 ANEXOS.....	 88

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN.....	4
FIGURA 2: MAPA TECTÓNICO DE AMÉRICA CENTRAL.....	15
FIGURA 3: MAPA PROVINCIAS GEOLÓGICAS DE NICARAGUA.....	17
FIGURA 4: ESQUEMAS DE UNA ZONA DE CIZALLA.....	46
FIGURA 5: MODELO DE CIZALLA PURA.....	48
FIGURA 6: DEFORMACIÓN DENTRO DE UNA ZONA DE CIZALLA.....	49
FIGURA 7: FRAGTURAMIENTO CONJUGADO.....	49
FIGURA 8: FRACTURAS PARALELAS ARREGLO EN ÉCHENLO.....	50
FIGURA 9: FALLAS NORMALES DE ALTO ÁNGULO.....	51
FIGURA 10: FRACTURAS SECUNDARIAS ASOCIADAS A FALLAS.....	51
FIGURA 11: DIAGRAMAS DE INDICADORES CINEMÁTICOS.....	52
FIGURA 12: TERMINACIONES DE LAS FRACTURAS.....	53
FIGURA 13: ROSETA DE FRACTURAS CON DIRECCIÓN N-S.....	61
FIGURA 14: ROSETA DE FRACTURAS CON DIRECCIÓN NW-SE.....	67
FIGURA 15: ROSETA DE FRACTURAS CON DIRECCIÓN NE-SW.....	76
FIGURA 16: ROSETA DE FRACTURAS GENERALIZADA CON DIRECCION NW-SE.....	76

ÍNDICE DE FOTOS.

FOTO 1: MUESTRA DE ROCA ANDESITA.....	22
FOTO 2: RODADOS DE ANDESITA.....	22
FOTO 3: MUESTRA DE ANDESITA EN MICROSCOPIO.....	23
FOTO 4: MUESTRA DE ROCA DACITA.....	24
FOTO 5: MACIZO DE ROCA DACITA.....	25
FOTO 6: ROCA DACITA DE DIFERENTE TAMAÑO DE GRANO.....	26

FOTO 7: COLADAS DACÍTICAS DE FORMA COLUMNAR.....	27
FOTO 8: MUESTRA DE BASALTO.....	27
FOTO 9: BASALTO COMPLETAMENTE METEORIZADO.....	28
FOTO 10: MUESTRA DE BASALTO EN MICROSCOPIO.....	29
FOTO 11: MUESTRA DE BASALTO EN MICROSCOPIO.....	29
FOTO 12: BLOQUE MASIVO DE AGLOMERADO.....	30
FOTO 13: AGLOMERADO EN FORMA DE BLOQUE.....	31
FOTO 14: LAVA DE TIPO PAHOEHOE CERRÓ LA ENCANTADA.....	32
FOTO 15: MUESTRA DE PÓMEZ, BANCO DE MATERIALES.....	33
FOTO 16: ROCAS ALTERADAS POR ALTERACIÓN HIDROTERMAL.....	34
FOTO 17: ALTERACIÓN PROPILITICA.....	35
FOTO 18: ALTERACIÓN ARGILICA.....	36
FOTO 19: ALTERACIÓN POR SILISIFICACIÓN.....	37
FOTO 20: GEOMORFOLOGÍA: COLINAS DENUDACIONALES.....	39
FOTO 21: GEOMORFOLOGÍA: UNIDADES DE LAVA.....	41
FOTO 22: GEOMORFOLOGÍA: REMANENTE DE CALDERA.....	42
FOTO 23: GEOMORFOLOGÍA: TOPOGRAFÍA ONDULADA.....	43
FOTO 24: FRAGTURAMIENTO CONJUGADO.....	54
FOTO 25: PLIEGUES FORMANDO ANTICLINAL.....	54
FOTO 26: ESCARPES DE LOS SEGMENTO DE FALLAS SAN JOSÉ.....	55
FOTO 27: PRINCIPALES INDICADORES CINEMÁTICOS FALLA SAN JOSÉ....	56
FOTO 28: FALLA SAN JUAN VIEJO.....	57
FOTO 29: INDICADORES CINEMÁTICOS FALLA SAN JUAN VIEJO.....	57
FOTO 30: SEGMENTO DE FALLA TECOMAPA.....	58
FOTO 31: INDICADORES CINEMÁTICOS FALLA TECOMAPA.....	59
FOTO 32: FALLA LISTRICA MOVIMIENTO LATERAL DERECHO.....	63
FOTO 33: INDICADORES CINEMÁTICOS FALLA LA CALERA.....	64
FOTO 34: FALLAS FORMANDO ESTRUCTURAS EN DOMINO.....	65
FOTO 35: INDICADORES CINEMÁTICOS FALLAS LOS MICOS.....	65

FOTO 36: ESCARPE DE FALLAS SAMSON.....	66
FOTO 37: FALLA EL ALMENDRO MOVIMIENTO LATERAL IZQUIERDO.....	68
FOTO 38: INDICADORES CINEMÁTICOS CERRÓ EL OJOCHÓN.....	69
FOTO 39: INDICADORES CINEMÁTICOS FALLAS LOS CONGÓS.....	71
FOTO 40: INDICADORES CINEMÁTICOS FALLAS LOS CONGÓS.....	70
FOTO 41: BORDE SW DE FALLA MONTE FRESCO.....	71
FOTO 42: INDICADORES BORDE SUR FALLA MONTE FRESCO.....	72
FOTO 43: BORDE NE FALLA EL APAREJO.....	73
FOTO 44: INDICADORES CINEMÁTICOS NE FALLA EL APAREJO.....	74
FOTO 45: FALLAS LAS PALANCAS.....	75
FOTO 46: CALDERA EL LIMÓN.....	78
FOTO 47: CALDERA LAS PALANCAS.....	79
FOTO 48: ESTRUCTURAS SEMICIRCULARES LA ENCANTADA.....	80
FOTO 49: ESTRUCTURAS SEMICIRCULARES EL OJOCHÓN.....	81
FOTO 50: ESTRUCTURAS SEMICIRCULARES EL CHÚCARO.....	81

INDICE DE TABLA

Tabla 1: CLASIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA VANZUIDAM.....	92
Tabla 2: CLASIFICACIÓN DE MINERALES.....	93
Tabla 3: CLASIFICACIÓN DE MINERALES.....	94



CAPITULO I

INTRODUCCION.

En el presente trabajo se realizó un estudio geológico, que se ejecutó entre Agosto y Septiembre del 2016, con el propósito de realizar un levantamiento geológico a escala semidetalle 1: 50,000, donde sus principales objetivos fueron: localizar, describir y anotar cada una de las unidades litológicas y estructuras geológicas; definir sus tipos de alteraciones. Esto con la finalidad de suministrar información geológica básica, debido a la escasez de actualización geológicas en el sitio, puesto que la información encontrada corresponde a los periodos entre 1970-1990.

El área de trabajo cubre una extensión aproximada de 328.819 km². Ubicada en la parte central de Nicaragua específicamente en el Departamento de León, encontrándose dentro de la hoja topográfica Larreynaga (2854-II) (Fig.1). geológicamente está compuesta de rocas volcánicas del Terciario, pertenecientes a la provincia central de Nicaragua de las cuales se encuentran compuesta litológicamente por: andesita, dacita, basalto, lava y aglomerado, tobas y sedimentos aluviales. Estas están siendo afectadas por diferentes tipos de alteraciones, de los cuales se identificaron: Argilización, propilitización y silicificación.

Estructuralmente se reconocieron tres fases de fallamiento de carácter regional, estructuras circulares y semicirculares las cuales están afectando al macizo rocoso. Estas fases son: fallamiento NS, fallamiento NE-SW y fallamiento NW-SE.

La actualización de estos resultados, darán un gran aporte en el área geológica y estructural del sitio estudiado, para futuras investigaciones que posean el mismo interés ya sea de carácter económico o investigativo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Actualización de la cartografía geológica de la parte NW – SW de la hoja topográfica Larreynaga del departamento de León a escala 1:50000.

1.1.2 Objetivo Específicos.

- Caracterizar las unidades litológicas localizadas en el área de estudio.
- Especificar las unidades geomorfológicas en el área de estudio.
- Realizar análisis petrográfico para identificar las unidades litológicas.
- Proponer la columna estratigráfica del área.
- Describir las estructuras geológicas que se presenten en el área de investigación.
- Establecer la secuencia de las fases de fallamiento tectónico de la región.
- Identificar y delimitar las zonas de alteración.

1.2 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio se localiza a 115 Km al Noroeste de Managua, comprendiendo parte del departamento de León en el occidente de Nicaragua. Cubre una superficie aproximada de 328.819 km² dentro de las coordenadas N 140100, E 52800, abarcando la hoja topográfica de (2854-II) a escala 1: 50,000 y editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2006).

Dentro del área se incluyen el municipios Larreynaga- El Sauce y los poblados de El Limón, Santa Pancha, Comarca Los Panales N° 2, El Piñuelar, El Vizcaíno, Porto Banco, Jiñocuao, Félix Ernesto López Toruño, (Instituto Nacional de estadísticas y censo; 2016). (Fig.1).

Al sitio de estudio se llega a través de dos vías de acceso:

- La primera, por la Carretera Managua-León hasta llegar al empalme de Chinandega, se toma la carretera que va a San Isidro hasta llegar a la entrada del municipio Larreynaga, posteriormente se toma la carretera de todo tiempo que conduce al municipio Larreynaga.
- La segunda, por la Carretera Panamericana Managua-Lapazcentro continuando hasta llegar a la carretera que conduce a la Villa 15 de Julio, girando a la derecha tomando la carretera que va hacia San Isidro hasta llegar a la entrada del Municipio Larreynaga posterior se toma carretera de todo tiempo hasta el municipio Larreynaga.

Actualización Cartográfica Geológica de la zona NW Y SW del mapa Topográfico Larreynaga, (perteneciente a la hoja N° 2854II), escala 1:50000.

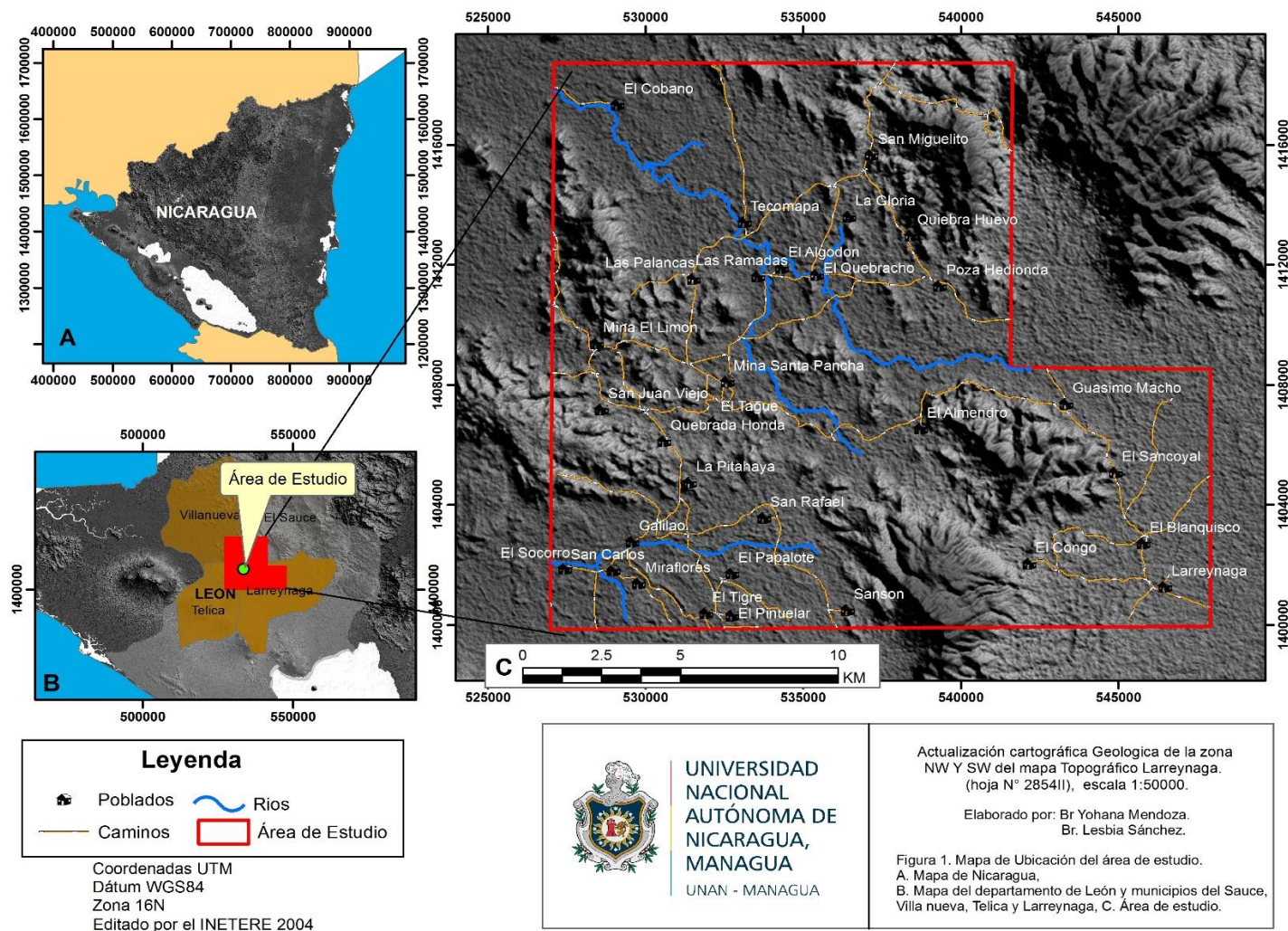


Figura1. Mapa de ubicación

1.3 ANTECEDENTES

Existen documentaciones con referencias al mapeo geológico realizados en la hoja topográfica Larreynaga, Entre ellas las más Disponibles son: **En 1971 Hodgson** preparo un documento sobre la geología y anotaciones mineralógicas de la planicie noroeste y de la precordillera occidental, incluyendo las áreas de las hojas topográficas de Cinco Pinos (2855 IV), San Juan de Limay (2855 I), Somotillo (2855 III), Achuapa (2855 11), Puerto Morazán (2754 _I) Villa Nueva (2854 IV) 'El Sauce (2854 1), San Nicolás (2954 IV), Larreynaga (2854 II) Santa Rosa del Peñón (2954 III), San Francisco del Carnicero (2953 IV), y Momotombito (2953 III).

El Servicio Geológico Nacional de Nicaragua (supervisado por la Parsons Corp) junto con **Hodgson (1972), Zeron R. (1972)**; Preparó el mapa Geológico y anotaciones mineras del cuadrante Larreynaga donde está incluido parte del Distrito Minero de El Limón y el mapa geológico de la villa 15 de Julio. Con el fin de introducir dentro de estos mapas geológicos las nuevas Normas estratigráficas establecidas por el Servicio Geológico Nacional durante el desarrollo de la cartografía Geológica de Nicaragua.

Lilljequist y Hodgson, 1983 realizaron un estudio del desplazamiento de las actividades volcánicas durante el Terciario cretáceo superior y la relación entre paleo-arco volcánico y depósitos de minerales de Nicaragua. Donde se refleja la relación entre depósitos minerales y estructuras de paleo-arco en el área de estudio.

En junio de **1993 Ubieta K, Ortiz L. y Contreras H**, realizaron un estudio de exploración Magnética y Electromagnética en el área de los llanos de monte largo El Limón correspondiente a la parte NE y SE de la hoja topográfica Villa 15 de Julio. Con el propósito de encontrar estructuras circulares asociadas al modelo de caldera (Lilljequist y Hogdson, 1983).

En el **2009 March Central Sum**, preparó un reporte técnico del recurso minero de El Limón y área de La India. El mapa de las estructuras mineras y zonas de alteraciones del área de El Limón contribuye gran parte del conocimiento de los recursos mineros y la reserva minera de esta.

Barnes, H.L., (1967). Preparo un libro de alteraciones hidrotermales donde explica los diferentes procesos y factores que afectan las rocas dando como resultado los diferentes tipos de alteraciones hidrotermales.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La cartografía se ha mantenido, desde el desarrollo inicial de las Ciencias de la Tierra, como una herramienta básica en la investigación y en la exploración geológica de los recursos naturales. Los únicos estudios realizados en la carta geológica Larreynaga después del servicio geológico en 1972, fueron estudios geofísicos realizados por Ubieta K; (1993-1995), donde encontró nuevas estructuras circulares.

Tomando en cuenta lo antes mencionado por Ubieta K., (1993-1995) se considera de suma importancia actualizar el mapa geológico del Municipio Larreynaga, del cuadrángulo 2854-II, incluyendo la nueva estratigrafía convencional de la geología de Nicaragua establecida por el Servicio Geológico Nacional en 1972; ya que con la ayuda de herramientas tecnológicas como imágenes Satelitales, fotografías aéreas podemos identificar formaciones geológicas como (fallas, calderas, lineamiento, estructuras semicirculares y contacto). Permitiendo al Geólogo y profesionales afines, un rápido entendimiento global de la geología del área.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La última cartografía geológica del área del municipio Larreynaga fue hecho por el Servicio Geológico Nacional en 1972. Hasta hoy ninguna institución cuenta con un mapa completo actualizado; existen varios estudios que han aportado a la actualización de esta carta geológica, pero estos han sido de muy poca información abarcando pequeñas áreas. Tomando en cuenta lo antes mencionado se propone esta investigación que se basa en la compilación, revisión y etapa de campo para dar por concluido la actualización de la parte NW-SW de la carta geológica de la hoja topográfica 2854-II Larreynaga a escala 1: 50,000.

1.6 METODOLOGÍA.

La metodología para llevar a cabo el estudio consistió en 3 etapas principales que se describen a continuación.

1.6.1 TRABAJO DE GABINETE.

En esta etapa se recopiló y analizó toda la información posible del área y se prepararon las condiciones para proceder a la etapa de campo, siendo las siguientes:

✓ Recopilación de la información.

En esta etapa se consultaron; estudios, tesis u otros estudios realizados cercanos al área, recopilación de mapas topográficos, geológicos, imágenes satelitales de tipo ASTER-DEM, se obtuvieron 25 fotografías aéreas, correspondientes al área de estudio a escala 1:40,000 editada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

✓ Foto interpretación.

Se utilizó esta técnica mediante la cual se examinaron imágenes satelitales y fotográficas del terreno con el propósito de suministrar información de interés geológico como: fallas, contacto, relieve, estructuras circulares, drenaje. En base a esta información obtenida se elaboró un mapa Foto-geológico preliminar.

✓ Enfoque.

La geología es una ciencia muy amplia en la que se engloban diferentes disciplinas dentro de ellas mismas. Esta, juntas son capaz de resolver y dar soluciones a los diferentes problemas que se presentan.

La actualización de una cartografía geológica se basa en un proceso de carácter científico, el cual posee información que sirve como base para otros estudios ya sean geofísicos, geoquímicos o de exploración, con objetivos

relacionado a la misma; esta información sirve tanto de interés económico como social, ya sea para beneficio a las autoridades municipales o empresas privadas.

Nuestro estudio lleva como fin, el reconocimiento y descripción de las diferentes unidades geológicas, estructuras volcánicas, ubicación de fallas y fracturas que se presentan en la parte NW –SW del área de estudio.

✓ **Tipo de estudio.**

El presente trabajo se basa en dos tipos de estudios principales, exploratorio y descriptivo.

Estudio exploratorio: Nos permite aproximarnos a un tema poco estudiado con el fin de aumentar el grado de información posible para poder llevar a cabo una investigación más completa, en este caso el área de estudio perteneciente a la hoja topográfica 2854 II Larreynaga, cuenta con poca información y se encuentra bastante desfasada, puesto que la última actualización cartográfica realizada fue en los años de 1972.

Estudio descriptivo: Describe situaciones y eventos es decir como es y se manifiesta determinado fenómeno. El propósito es especificar, evaluar, analizar y medir diversos aspectos, en nuestra área de estudio estos son los aspectos más relevantes a tratar puesto que se describen cada una de las unidades litológicas, y sus tipos de alteraciones, las estructuras volcánicas y sus fases de fallamiento.

✓ **Población y muestra.**

En nuestro estudio la **población** pertenece a la hoja topográfica Larreynaga, siendo la parte NW-SW del área de estudio.

muestra: Las rocas, indicadores cinemáticos, fallas, fracturas, y alteraciones hidrotermales.

instrumento: Los instrumentos que se utilizaron en la elaboración de esta cartografía son: Mapas, GPS, brújula, piqueta, lupa, acidoclorhídrico, lápiz de dureza, cinta métrica, libreta de apuntes, cámara fotográfica, bolsas para muestra.

✓ **Elaboración de mapa base.**

En esta etapa se digitalizaron las curvas de nivel del mapa topográficos del área para elaborar los mapas digitales: Mapa de pendiente, altimétrico y modelo de sombreado.

- **Mapa Topográfico.**

Teniendo como finalidad mostrar las variaciones del relieve a través de curvas de nivel, Las curvas de nivel del área de estudio presentan una orientación preferencial NW-SE, con una altitud que varía de los 20 a 597 msnm.

La primera zona se destacan curvas que se disponen de forma circular con alturas 532-560 msnm están curvas están definiendo estructuras circulares asociadas a antiguas calderas volcánicas. Su mayor concentración se da en el Borde NE de la Caldera el Aguacate y Cordillera San Marcos, comarca El Guacucal NE-SW propuesta en el trabajo y San Fernando SW, su alineación va en dirección NW-SE.

La segunda zona con curvas poco espaciadas en las áreas de La Ramada, Lomas las Vueltas, Santa Lucia, Rincón de Gámez. Alineadas en dirección NE-SW y con elevaciones entre los 200-600 msnm que coinciden con el patrón de fallamiento paralelo propuesto en este trabajo, dentro esta misma zona se definen otras áreas que forman parte de Comarca El Guacucal, Cerro Piedra Parada, Cenicera, con dirección NW-SE y sus elevaciones varían de 100 – 404 msnm. (Ver anexo 4.)

- **Mapa Altimétrico.**

También conocido como mapa hipsométrico, es una representación de las diferentes elevaciones topográficas que conforman el área, la cual se realiza a través de una variada gama de colores con tonos que van de frío a cálido, definiendo zonas topográficas con máxima y mínima elevación del relieve

En el caso del mapa altimétrico del área de estudio, se trabajó con una gama de colores con tonos que varían de verde para zonas bajas, amarillo a anaranjado

para zonas medias y rojo para zonas altas. De acuerdo al análisis realizado en el área de estudio, identificamos que en la parte NE y SE se encuentran las mayores alturas que van de 100 a 520 msnm exceptuando alguna altura en la parte W que varían de 247 a 340 msnm; descendiendo de manera gradual al centro del mapa. (Ver anexo 5.)

Permitiendo así definir las diferente morfo-estructuras que se logran interpretar en el mapa altimétrico: en los cuales tenemos estructuras semicirculares relacionadas a antiguas calderas volcánicas, fallas y lineamientos morfo estructurales.

- **Mapa de Pendiente.**

Es una representación de la diferencia entre las elevaciones de las curvas de nivel y el espacio que existe entre ellas, permitiendo identificar diferentes patrones morfológicos de acuerdo a la semejanza y diferencia de pendientes basado en el cambio de coloración.

De acuerdo al análisis del mapa de pendiente correspondiente al área de estudio se determinaron las pendiente en base a la coloración en ellas tenemos que zonas bajas están en intervalo de (0-20°) de acuerdo al mapa es de color verde a las cuales le dimos el nombre de llanuras aluviales; tenemos también pendiente de medias a moderadas en intervalos de (20-130°) de color verde a verde limón vista como zonas pocamente escarpadas asociadas a lomas; pendientes moderadas que van de (130-349°) de color amarillo a anaranjado y por últimos tenemos la zona de mayor pendiente que en el mapa está representado de color rojo que van de (349-628°) en las que se determinan estructuras de antiguas calderas volcánicas (Ver anexo 6.)

- **Mapa de modelo de sombra.**

Es una representación tri-dimensional de las características del relieve, la cual se genera a partir de la interpolación entre los datos de alturas de las curvas de nivel, facilitando así la distinción de zonas de mayor altura y rasgos morfo estructurales.

En este mapa se emplearon una trama de colores que van de negro oscuro para zonas bajas, gris para zonas intermedias y blanco para las zonas más altas permitiendo así de igual manera visualizar las diferentes estructuras (Ver anexo 7.)

✓ **Etapas de campo.**

En esta etapa se desarrolló el levantamiento geológico con el propósito de verificar la información del mapa preliminar elaborado; donde se hizo un reconocimiento en el campo en los cuales se definieron los siguientes parámetros: **Estructuras** (fallas, fracturas, diaclasas y estructuras circulares). **Indicadores cinemáticos** (fracturas paralelas, fracturas en relay, brechas de falla, harinas de fallas y estructuras R-P, fallas listricas, sigmoides, sistemas conjugados).

Se hizo reconocimiento de contactos litológicos, se caracterizaron las rocas existentes en el área, haciendo una descripción generalizada a nivel macroscópico, definiendo su textura, dureza, color, tamaño de granos y minerales esenciales, se tomaron datos de rumbo y buzamiento. Se realizó tomas de muestras de afloramientos y fotografías de cortes expuestos.

1.6.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DE CAMPO

✓ Análisis Estructural.

En este punto se analizaron e interpretaron las diferentes características estructurales del área, donde se hizo levantamiento de los indicadores cinemáticos representativos en cada uno de los afloramientos encontrados, Para obtener así el mapa estructural del área mediante el apoyo de herramientas como brújula, cinta métrica, libreta de apunte, escala.

✓ Descripción macroscópica de las tomas de muestras.

Se realizó un análisis visual o macroscópico de las muestras obtenidas en campo, para así determinar sus características más representativas como son: textura, algunos minerales representativos, color, tipo de alteración y oxidación.

✓ Elaboración de Secciones Delgadas.

Posteriormente se elaboraron secciones delgadas de las muestras recolectadas para su análisis petrográfico, y así poder obtener una mejor clasificación de las rocas descritas en campo, con el fin de determinar el tipo de roca que caracteriza la zona y aportar información para la realización del mapa geológico del área de estudio.

✓ Informe Final

Finalmente, los datos obtenidos fueron debidamente modelados con ayuda de programas Computacionales (GEOrient, ArcGIS 10.2.). Para elaborar los mapas, geomorfológico y geológico del área a escala 1:50,000 y a partir de la información analizada y procesada, se redactó el informe final.

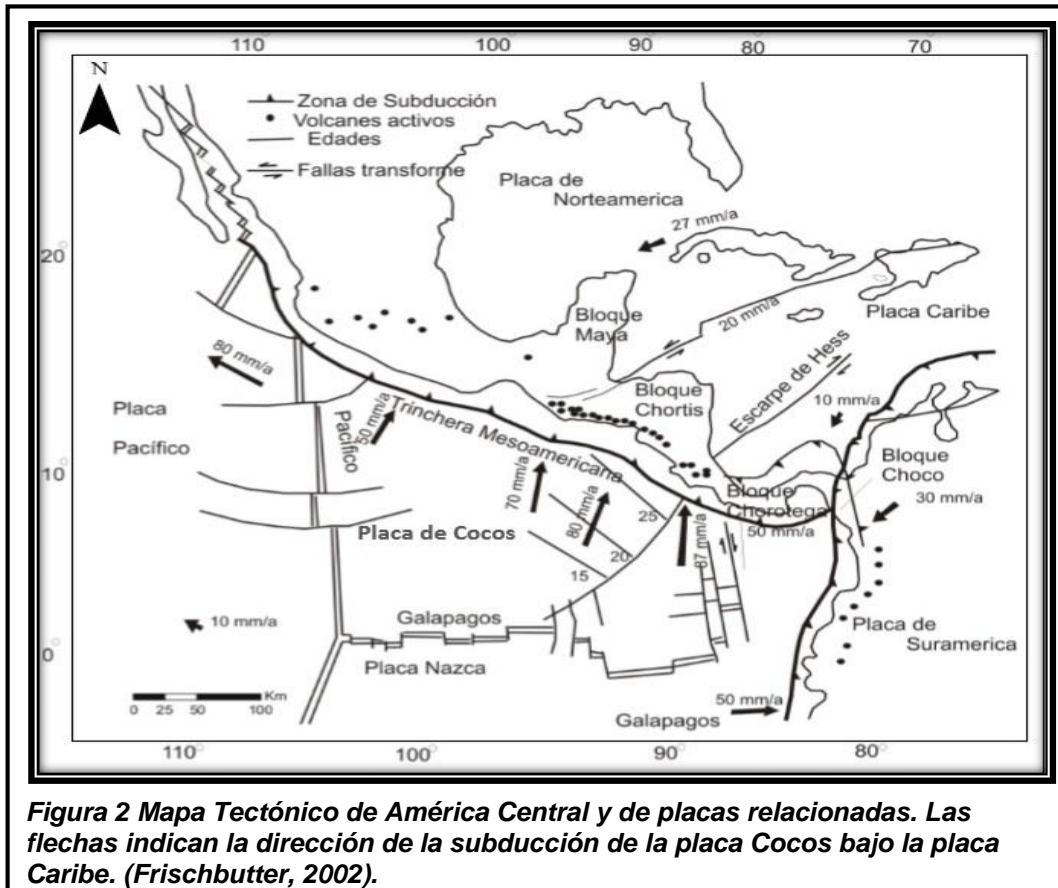
CAPITULO II

2.1 TECTÓNICA DE AMÉRICA CENTRAL Y NICARAGUA

Centroamérica está localizada en la zona Oeste de la placa del Caribe e involucrada en los movimientos de las placas de Norteamérica, Suramérica, Placa de Cocos y la Placa de Nazca. Limitada en sus costas por importantes unidades tectónicas, como la Fosa Mesoamericana; la cual se encuentra a 100 Km del Continente en el Océano Pacífico. Es paralela a la Depresión Nicaragüense. Tiene una profundidad de 6 Km en su terminal en Guatemala; Atraviesa toda Centroamérica, desapareciendo al Sur del istmo Centroamericano (Hodson G, 2002.) (Fig 02).

En el istmo centroamericano la placa del Caribe está dividida en dos elementos estructurales; el Bloque Chortis que conforma América Central del Norte y el Bloque Chorotega de América Central Sur. Nicaragua está limitada en sus costas por importantes unidades tectónicas en el Pacífico por la plataforma continental, la fosa Mesoamericana, la placa de Cocos, y la placa Nazca mientras que la Costa Atlántica está limitada por la placa del Caribe y el banco de Nicaragua.

Para una mayor comprensión de la Tectónica de Nicaragua, nos podemos basar en el documento de Venable M; (1994) en donde señala un tercer fragmento descrito con el nombre de Terreno Siuna, localizado entre el bloque Chortis y Chorotega, que posiblemente representa el arco de Las Antillas Mayores, incrustando al margen Sur del bloque Chortis durante el enfriamiento del Cretáceo Superior.



2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE NICARAGUA.

El territorio nicaragüense, en su totalidad se encuentra altamente fallado, fracturado o plegado, de acuerdo a investigaciones realizadas, asignándoles edades del Terciario-Cuaternario. Existen sistemas de fallas principales y secundarias, cubriendo principalmente las provincias del Norte y Central (Lilljequist y Hodgson, 1983). En Nicaragua los sistemas que constituyen los elementos estructurales más prominentes fueron agrupados en tres sistemas principales: NW-SE, NE-SW y NS.

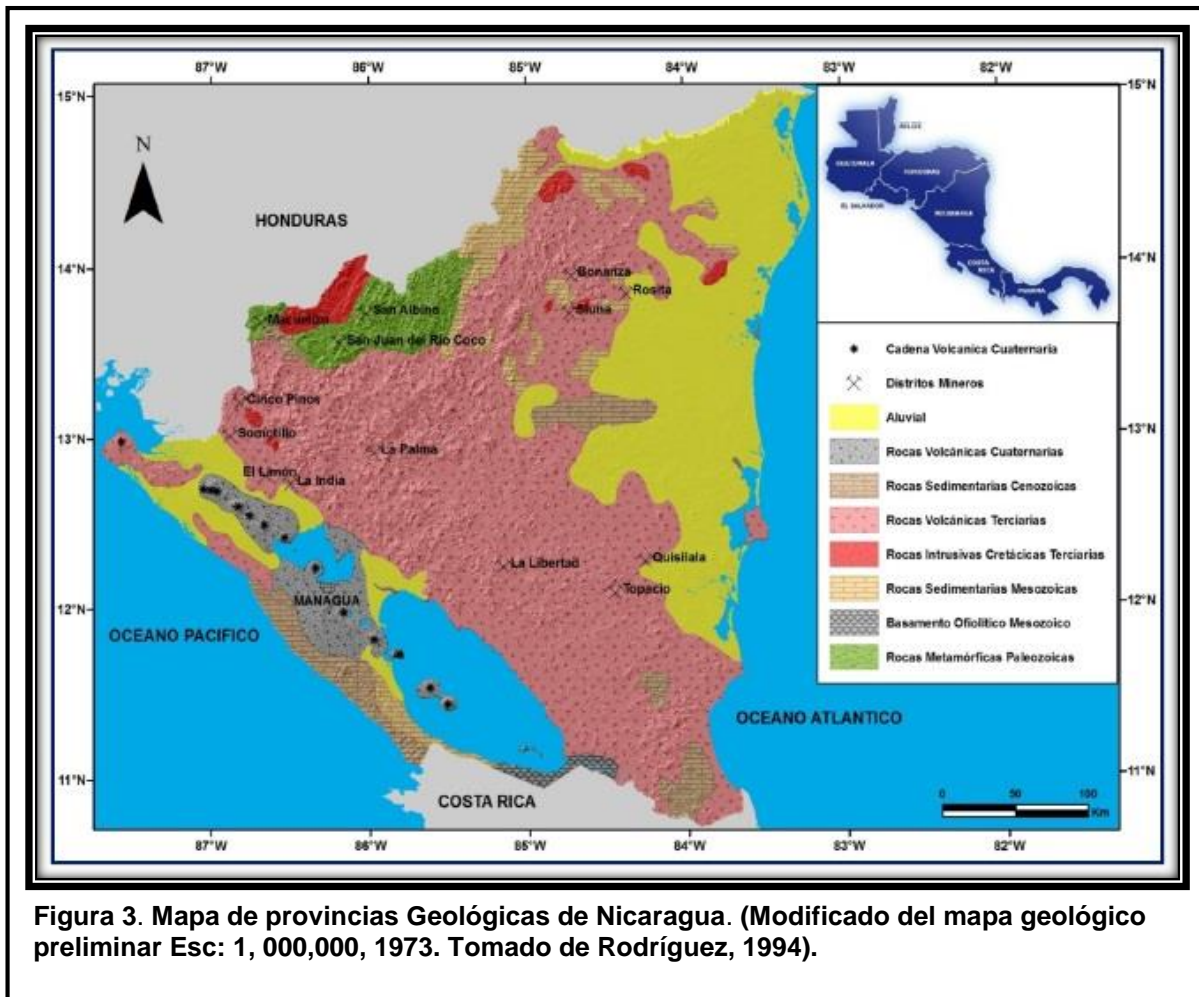
Estructuras de fallas con rumbos diferentes (NNW, SSE y E-W) no son muy raras señalan la presencia de estructuras lineales en el N del país y E del lago de Managua, con rumbo diferentes a los tres sistemas principales ya mencionados. Cabe mencionar Fallas NW-SE: se ha señalado que estas fallas coinciden con el rumbo de la cordillera Amerrisque (Hunting, 1971).

Tomando en cuenta lo antes mencionado las fallas son prominentemente normales o de gravedad. Estas fallas son consideradas de haberse formado como resultado de regímenes tensionales durante el pleistoceno. Las estructuras circulares (cráteres y calderas) están distribuidas en toda el área de Nicaragua con una tendencia de agruparse a lo largo de los arcos volcánicos dirigidos hacia el W (Lilljequist y Hodgson, 1983).

2.3 GEOLOGÍA REGIONAL DE NICARAGUA.

En 1976 Nicaragua fue dividida en 5 provincias geológicas, diferenciadas por su geomorfología, estratigrafía, geología tectónica, histórica y económica. McBirney y Williams, 1965; Hodgson, 1977), Las que se describen a continuación, (Fig. 03)

- Provincia de la Costa del Pacífico.
- Provincia de la Depresión o Graben Nicaragüense.
- Provincia Central.
- Provincia del Norte.
- Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica.



2.2.1 Provincia de la Costa del Pacífico.

Se localiza en el margen pacífico de Nicaragua, en la parte occidental de la placa Caribe en el área de antearco del pacífico y se extiende costa dentro hasta el graben de Nicaragua, donde se delimita el arco volcánico activo. Alcanzando un espesor aproximado de 8200 m (Kuang, 1971).

En esta provincia se destacan 6 formaciones cuyas edades varían entre el cretáceo superior y plioceno. Formación Rivas, Formación Brito, Formación Masachapa, Formación El Fraile, Formación Tamarindo y Formación El Salto. Las rocas que caracterizan estas formaciones son calizas, grauvacas, lutitas, conglomerados y tobas, exceptuando la formación Tamarindo representada

principalmente por rocas volcánicas y en su parte inferior lutitas y areniscas de la formación El Fraile (Kuang 1971).

2.2.2 Provincia de la Depresión de Nicaragua.

Se extiende desde el Golfo de Fonseca hasta el extremo sureste de Nicaragua. Contiene la Cadena Volcánica Cuaternaria, incluyendo los lagos de Nicaragua y la Depresión o Graben nicaragüense por el cual la provincia recibió su nombre. La Depresión forma parte de la zona marginal del pacífico de América Central, la cual está caracterizada por presentar fosa de mar profunda, regiones de plataforma, cadenas de roca de islas activos y rasgos tectónicos.

La geología que caracteriza la provincia son depósitos aluviales y piroclastos que están rellenando la depresión formando un espesor aproximado de 2000 m (Hodgson 2000), los depósitos piroclásticos se han agrupado en Grupo las Sierras y Grupo Managua, cada uno con sus subdivisiones (Kuang, 1971).

2.2.3 Provincia Central De Nicaragua.

En el estudio de la Historia volcánica de Nicaragua, Mc Birney,(1965). Subdividió las rocas volcánicas de la Región Central en dos grandes grupos y un tercer grupo inferido subyacente. Las rocas volcánicas predominantes, han sido divididas en dos Grupos principales: Grupo Coyoil y Grupo Matagalpa, (Parson Corporation, 1972). El Grupo Matagalpa fue introducido por Mc Birney y Williams (1965).

Como serie volcánica Matagalpa, y lo caracteriza por contener rocas ignimbritas riolíticas a dacíticas, depósitos piroclásticos subaéreos y ocasionalmente depósitos epiclásticos que yacen sobre una unidad de sedimentos y rocas volcánicas interestratificados conocida como unidad Pre- Matagalpa.

La secuencia de rocas que yacen sobre el Grupo Matagalpa recibe el nombre de Grupo Coyoil y se divide en dos subgrupos; Coyoil Superior y Coyoil Inferior, este último es equivalente con el Grupo Tamarindo de la provincia del pacífico. Constituida por flujos piroclásticos dacíticos a riolítico, basaltos, basalto-andesita, flujos de lava, autobrechas, brechas y aglomerados. En el E de la Provincia Central y de los llanos de la costa atlántica, gran parte de las montañas se encuentran en este grupo las rocas de este grupo han sido descritas como Terciario-Cretácico. El área de estudio perteneciente a la hoja topográfica Larreynaga, pertenece a esta provincia con un área de 328.819 km

2.2.4 Provincia del Norte.

Se localiza al Norte de Nicaragua y abarca los departamentos de Nueva Segovia, Madriz y parte norte de departamento de Estelí y gran parte del área central y norte del departamento de Jinotega y NW de Zelaya. Esta provincia se caracteriza por la ocurrencia de rocas metamórficas de edad paleozoica, consideradas como las rocas más antiguas de Nicaragua, integradas por esquistos (Del Guidice, 1960). La cual han sido instruidas por un gran batolito granítico de Nueva Segovia. Igualmente se han descubierto la presencia de fillitas, mármoles, cuarcitas, gneiss.

2.2.5 Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica.

Esta provincia abarca la Cuenca de la Mosquitia, la Cuenca Costera y el Banco de Nicaragua. Está comprendida entre el límite de la provincia del Norte, la Central, río Coco en el norte y río Indio en el sur, en el E el mar Atlántico.

Geológicamente se han definido 5 formaciones y un miembro, (Hodgson, 2000) y se caracteriza por el predominio de rocas sedimentarias recientes del pleistoceno, los sedimentos están representados por las gravas, arenas, arcillas, bajo la formación Bragman's Bluff y Aluviones recientes, rocas como areniscas, lutitas y calizas, conformando la parte superior de la cuenca Mosquitia.

CAPITULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 GEOLOGÍA LOCAL.

La hoja topográfica Larreynaga se encuentra en la provincia geológica Central de Nicaragua la cual se caracteriza por una intensa actividad de tectonismo y vulcanismo que ha dado origen a los procesos geológicos constructivos más importantes en la evolución geológica, permitiendo así la formación de rocas volcánicas de período Terciario, pertenecientes al grupo Coyol de edad Mioceno y Plioceno, (Hodgson G, 1972).

El Servicio Geológico Nacional, le asignaron el nombre de grupo Coyol y lo subdividieron en dos subgrupos: de acuerdo a sus edades radiométricas Coyol Superior (0.3-16 millones de años. m.a), Coyol Inferior (5-15 m.a). Donde cada uno contiene varias formaciones litológicas, cuya secuencia estratigráfica coincide con dichas edades radiométricas, (Hodgson G, 2000).

En el área de estudio se reconocen rocas principalmente del tipo extrusivas, que su composición varía de básica a acida dentro de las cuales se destacan: andesita, basalto, dacita, toba y aglomerados. Estas unidades geológicas se definieron en base a la clasificación de muestras recolectadas en campo donde se realizó un análisis macroscópico y la clasificación petrográfica de cada una de las unidades.

Las unidades litológicas no se encuentran en una secuencia uniforme dentro del área y en varias de ellas presentan inconsecuencia en cuanto su contenido mineral a nivel macroscópico, contacto entre unidades, textura y tipo de alteración. A continuación, se describen las unidades lito estratigráficas, de la más antigua a la más reciente siguiendo el orden en que se depositaron:

- Unidad de Andesita (Tmca)
- Unidad de Dacita (Tmcd)
- Unidad de Coladas Basálticas (Tpcb)
- Unidad de lava y aglomerado (Tpcl)
- Unidad de Piroclastos (Qv)
- Unidad de Sedimentos Aluviales (Qal)

3.1.1 Unidad de andesita. (Tmca)

Se caracteriza por ser la más representativa en el área de estudio cubriendo aproximadamente 123.5 km² con un espesor aproximada de 400 m. La mayor expresión de esta unidad se observa en la parte NE, NW y SW. Que corresponde a la parte basal de la secuencia estratigráfica y está constituida por extensos flujos lávicos de composición andesítica, produciendo grandes depósitos dando una formación de carácter regional.

Esta unidad esta sobreyacida por las unidades de dacita, basalto, aglomerado y toba. Se encuentra en contacto con la unidad de dacita Está relacionada a estructuras circulares pequeñas como: cerró los Ñatos grandes calderas propuesta por Ubieta K; (1993), las que probablemente actuaron como fuente deformación. Morfológicamente se presenta por montañas baja alargadas (200-300 m) en forma de domos como: cerró El Sonchiche, lomas las Matagalpa, cerró El Aparejo, lomas San José, lomas Las Casitas, cerró La Pelona, lomas de Babilonia, lomas de Cebadilla, comarca San Juan Viejo. Aflora en forma de pequeños bloques masivos de tamaños irregulares (Foto 02).

Macroscópicamente son rocas de grano fino a medio que varían de una coloración negra a gris- gris verdoso con textura de fanerítica a afanática; con fenocristales de plagioclasas y piróxeno (Foto 01).



Foto 01. A) Muestra alterada producto del intemperismo, B) Muestra Sin alteración de andesita con su coloración gris oscura. Sitio Las Margaritas (N140902, E0534117)

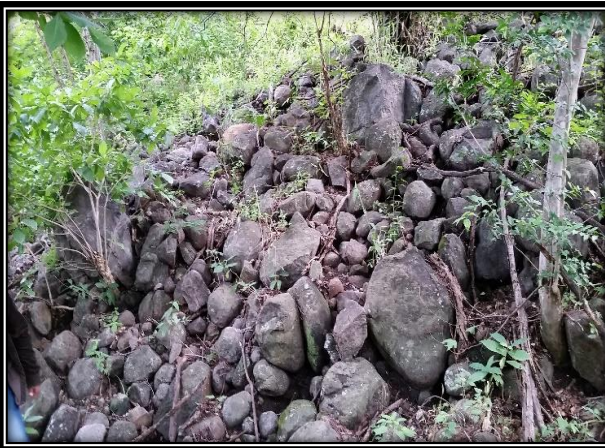


Foto. 02 Rodados de Andesita perteneciente a Lomas la Marillitas (N1405359, E0528382)

Microscópicamente la muestra es hipocristalina con textura porfídica y en ocasiones glomeroporfídica, la matriz se encuentra conformada por una mezcla de vidrio volcánico de textura criptocristalina conformando un 40%, así mismo se encuentra plagioclasas zonadas de tipo intermedia y Macladas en un 30% de la muestra. Algunas veces las plagioclasas están presentes en formas de prismas alargados y subhedrales, con un matriz micro cristalina.

En menores cantidades tenemos cristales de anfíboles comúnmente horblenda en un 20%, piróxeno en un 8% y minerales metálicos como accesorios en un 2%, esta muestra presenta alteración por carbonato de calcio, oxidación remplazando a algunos minerales y cloritización que está afectando la roca, (Foto 03).

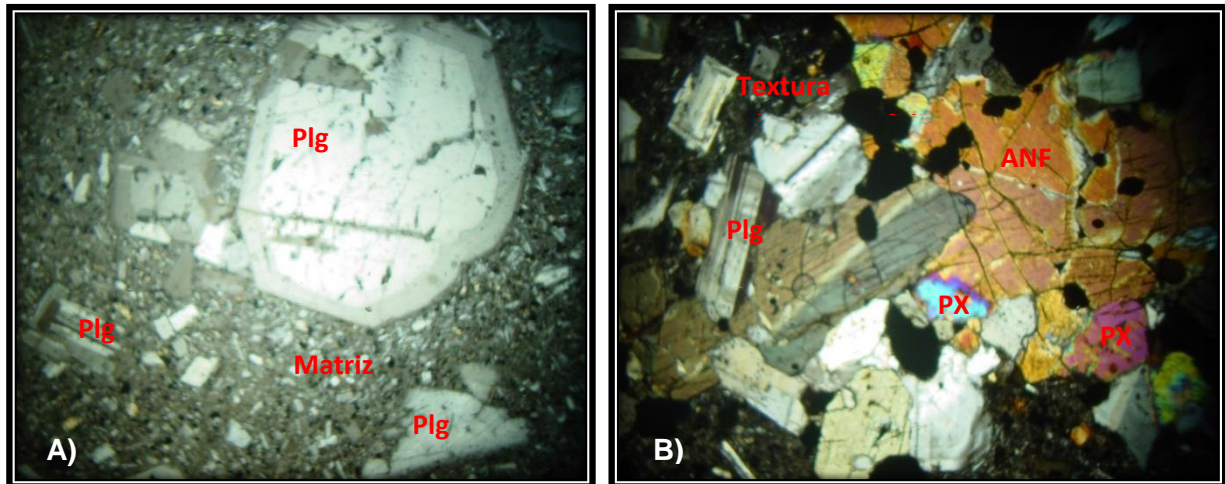


Foto. 03 Muestra N° 01 A) Fenocristales de piróxeno(Px), plagioclasas(Plg) y Horblenda, (Anfi) agrupados en parte de la roca mostrando una textura Glomeroporfidica, con nicoles cruzados, aumento 5X. B). Fenocristal de plagioclasas zonada de tipo intermedia (andesina), y matriz compuesta por vidrio volcánico de textura criptocristalina en un 40% Con nicoles cruzados, aumento 5X. Coordenadas (N1405359.E0528382)

3.1.2 Unidad de dacita (Tmcd)

Unidad localizada en la parte SE del área de estudio, con un espesor aproximado de 300 m cubre un área aproximada de 10 Km² y constituida por flujos lávicos de Composición dacíticas. Esta unidad es sobreyacida por las unidades de basaltos, tobas, aglomerados y aluviales y subyacida por la unidad de flujos andesíticos.

Morfológicamente está representada por grupos de cerros altos (200-400 m) y en forma de cúpulas bien redondeadas (100-200 m), como se observa en las áreas de cerro Pantasma, (N1407634, E539381), El Almendro (N1406775, E538721), cerro El Ojochón (N1404462, E541063) Aquí la roca aflora en bloques pequeños angulosos de hasta 2 m de alto y 3 m de ancho, (Foto 04).



**Foto. 04 Unidades de dacitas en formas de bloques angulares con alteración Argilica.
Sitio Pantasma (N1407269, E0540150).**

A diferencia de los afloramientos antes mencionados, en el área de Larreynaga la parte SE del cerro El Ojochón (N1404155, E541038) la dacita aflora de carácter masivo como extrusión lávica en forma de cúpula, (Foto 05).

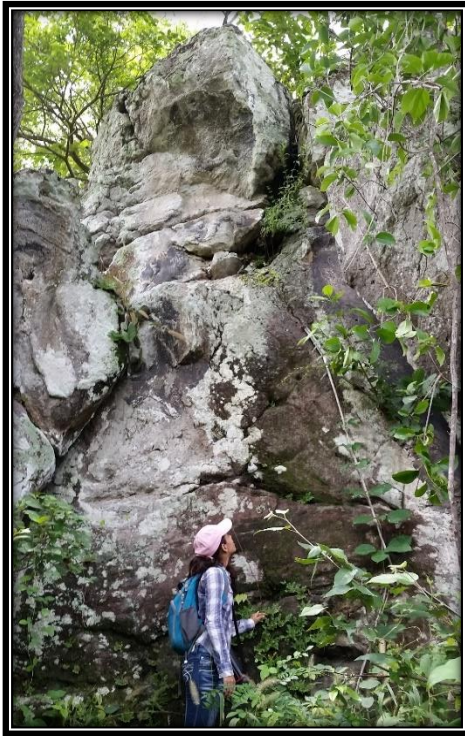


Foto. 05 Macizo de roca de composición dacítica en forma de cúpulas, perteneciente al Cerro Ojochón. Coordenadas (N1404529, E0541066).

Macroscópicamente estas dacitas son de textura fanerítica tienen estructura finamente granulada y sin brillo, presentan colores que varían de gris claro cuando se encuentran sin alteración a rosado grisáceo cuando están meteorizadas, dando como resultado un tipo de meteorización esferoidal o en capas de cebolla, (Foto 06).



Foto. 06 En las fotos A), B) se observa la diferencia de tamaño de granos y contenido mineral en roca de tipo dacíticas donde se aprecia mayor contenido de feldespatos potásico (foto B). C) Meteorización esferoidal.

3.1.3 Unidad de Coladas de lavas de composición basálticas (Tpcb).

Las unidades de rocas basálticas no se observan muy extendida dentro del área de estudio y está concentrada en la parte NE con aproximadamente 27.5 km² con un espesor de 200 m, constituida por flujos lávicos de composición basáltica. Sobreyacida por unidad de tobas dacíticas, aglomerados y sedimentos aluviales y subyacidos por la unidad de andesitas.

Morfológicamente está representada por grupos de cerros alargados (150-300 m) que están asociados a una serie de estructuras volcánicas como algunas calderas afectadas por la erosión, formando lomeríos extensos como se observa en las áreas de las comarcas El Tanque y Sitio San Pedro, loma Los Micos,

lomas Los Ojochito (N1417227, E535284), lomas La Batella (N1416583, E535913)
y loma La Coyota (N1414779, E535853).

Esta unidad aflora en forma de bloques masivos tabulares poco alterados. Estos productos del diaclasamiento por enfriamiento rápido de las coladas basálticas formando lo que se conoce como basaltos columnares, son muy representativos en lugares como lomas El Ojochito, La Encantada, (Foto 07).



Foto. 07 Unidad de coladas basálticas de forma columnar producto del diaclasamiento. Sitio La Encantada. Coordenadas (N1415621, E538432).



Foto. 08 Basalto presentando textura afanática. Lugar los Micos. Coordenadas (N1418225, E532735).

Macroscópicamente estos basaltos tienen textura afanática en ocasiones porfiritica y presentan colores que varían de negro cuando se encuentran sanos a gris rojizo cuando están alterados (Foto N°7 y N°8). Los basaltos antiguos completamente meteorizados dan como producto suelos arcillosos rojizos aparentemente muy oxidado (Foto N°9).



**Foto. 09 Basalto completamente meteorizado en loma la Batella,
Coordenadas (N1409465, E5290998).**

Microscópicamente la roca es de textura hipocristalina, posee una textura general porfídica, con una matriz compuesta por una mezcla de vidrio volcánico (criptocristalina) ocupando un 38% de la muestra.

Dentro de los minerales que la componen tenemos plagioclasas macladas en forma prismática alargadas, subhedrales en un 30%. Algunos minerales de plagioclasas presentan una alteración de tipo politización, anfíboles comúnmente hornblenda en un 20%, piróxeno en un 8%, olivino en un 2% y minerales metálicos en un 2% de la muestra (Foto N° 10).

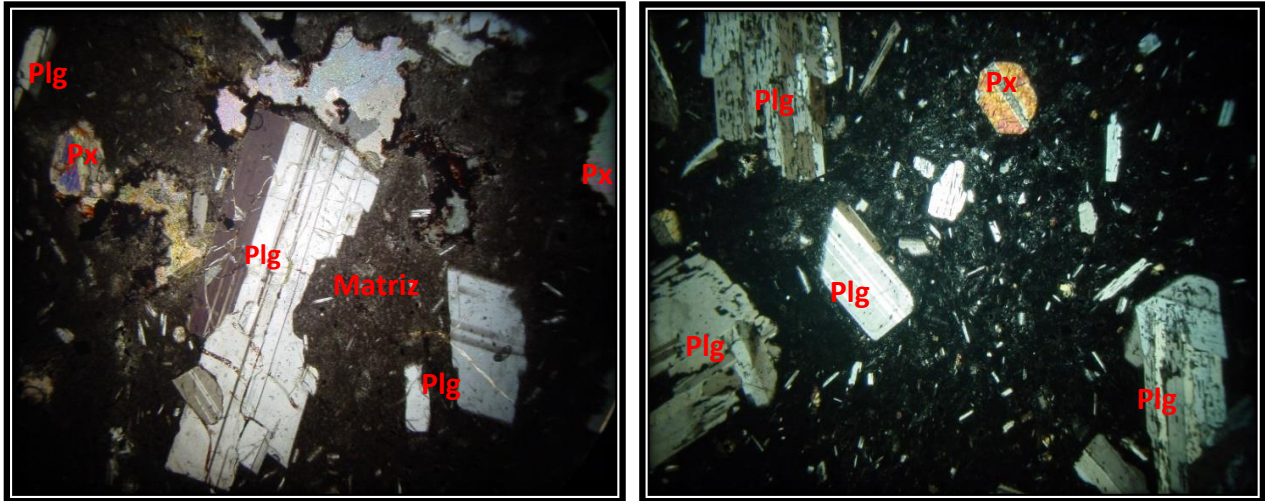


Foto. 10 Basalto con fenocristales prismáticos, (subhedrales) de plagioclasas (Plg) macladas y piróxeno, (Px) inmersos en una matriz criptocristalina con nicoles cruzados. 5X.

presentan textura porfídica y en algunos segmentos de la muestra presenta textura glomeroporfídica, (Foto 11); con una matriz microcristalina que no excede el 49% compuesta de plagioclasas, piróxeno y anfíboles que están segmentados, la muestra presenta alteración por clorita en abundancia y se encuentra reemplazando los minerales, así mismo se observa oxidación rellenando fracturas y reemplazando minerales

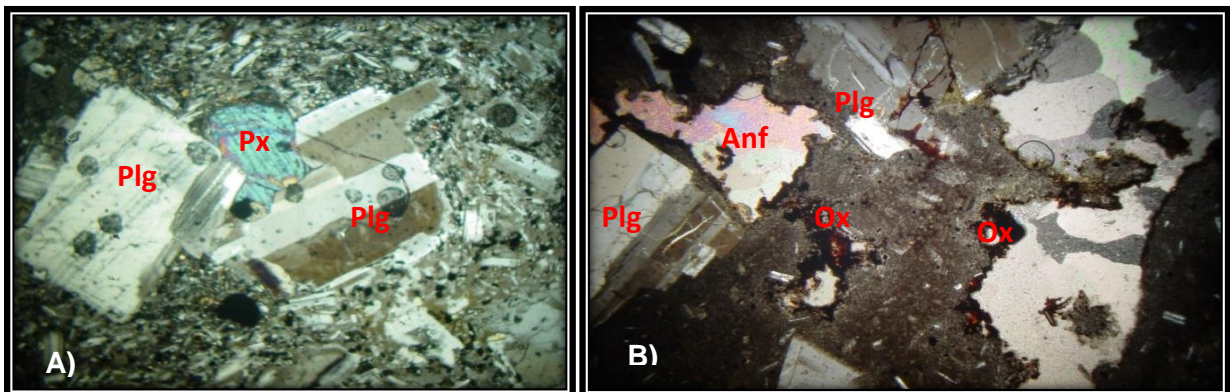


Foto. 11 A) Fenocristales de plagioclase maclada (Plg) de forma prismáticos y piroxenos (Px) con presencia de textura Glomeroporfídica. Con nicoles cruzados 5X. B) Oxidación (Ox) rellenando fracturas y reemplazando minerales. Con nicoles cruzados, 5X.

3.1.4 Unidad de lava y aglomerado (Tpcl).

Se encuentra localizada en la parte Norte y Sur cubriendo un área aproximada de 24.79 km². Esta formación está constituida en su base por basalto, andesita y su nivel superior por aglomerado. Morfológicamente está representada por grupos de cerros altos (300-600 m), en forma alargada cubriendo grandes extensiones dentro de los cuales incluyen; Cordillera San Marcos, Cerro el Chúcaro, Cerro La Encantada, Guanacastillo, Lomas Portobanco y Cerro el Ojochón (Foto 12).

Esta unidad ocurre como una facie remanente de la zona superior de los horizontes integrantes de las formaciones superiores del Coyol o representa el comienzo de una secuencia de rocas ígneas, cuyo desarrollo completo fue interrumpido por la orogénesis del Plioceno medio. Esta formación interrumpe la sucesión estratigráfica normal y se cree que podría ser el comienzo de una nueva sucesión, repitiendo el ciclo volcánico establecido, (Hodgson,1971).



Foto. 12 Bloque masivo de aglomerado en el cerro el Chúcaro.
Coordenadas (N140001, E539422).

Aquí la roca aflora en conjuntos pequeños angulosos de hasta 2 m de alto y 3 m de ancho (Foto N°12). Se presenta en formas de bloques compactos y paredes de unos 40 m de altura, principalmente en el Cerro la Encantada y Cordillera San Marcos. Macroscópicamente se compone de fragmentos líticos segmentados en una matriz tobacea de color rojizo de textura afanítica. Los cuales constituyen de un 40-50% de la muestra, con forma que van de angulosos a sub-redondeados, con tamaño de hasta 10 cm (foto N°13).

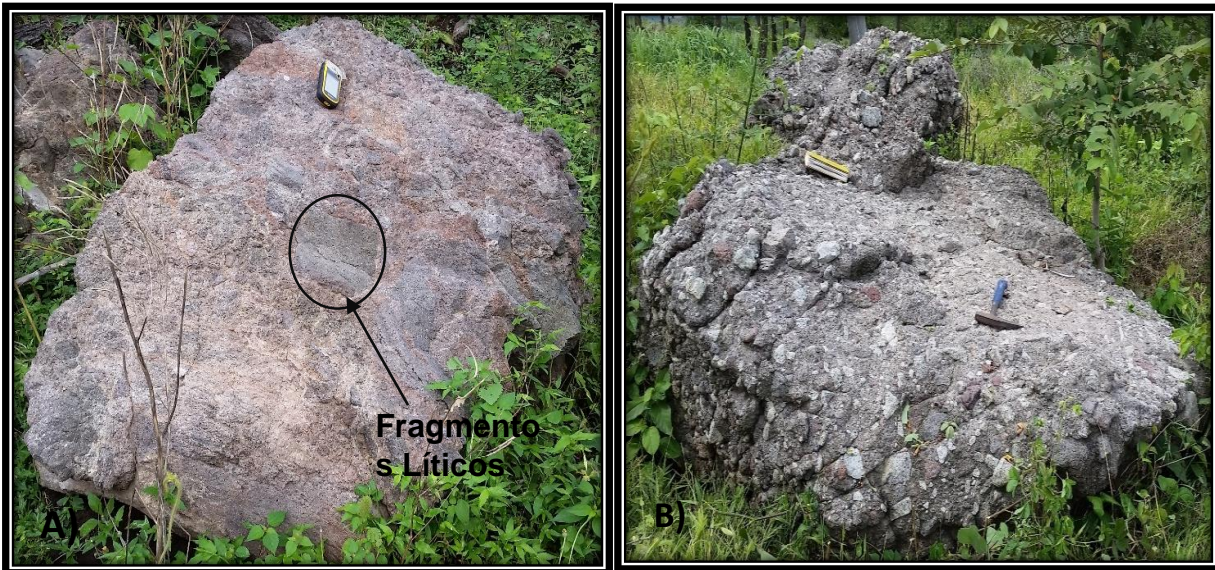


Foto. 13 A) Aglomerados en formas de bloques con fragmentos angulosos de hasta 20 cm pertenecientes al cerro la Encantada (N1416077, E539001). B) Fragmentos sub-redondeados a redondeados conservando mayor porcentaje en la roca. Lomas de Portobanco (N1410820, E541844).

En la parte NW del Cerro la Encantada se observan las coladas de lava tipo pahoe-hoe estas se presentan con una superficie de aspecto suave y vítreo y con estructuras cordadas muy características, se originan principalmente por erupción de magmas muy viscosos (Foto 14).

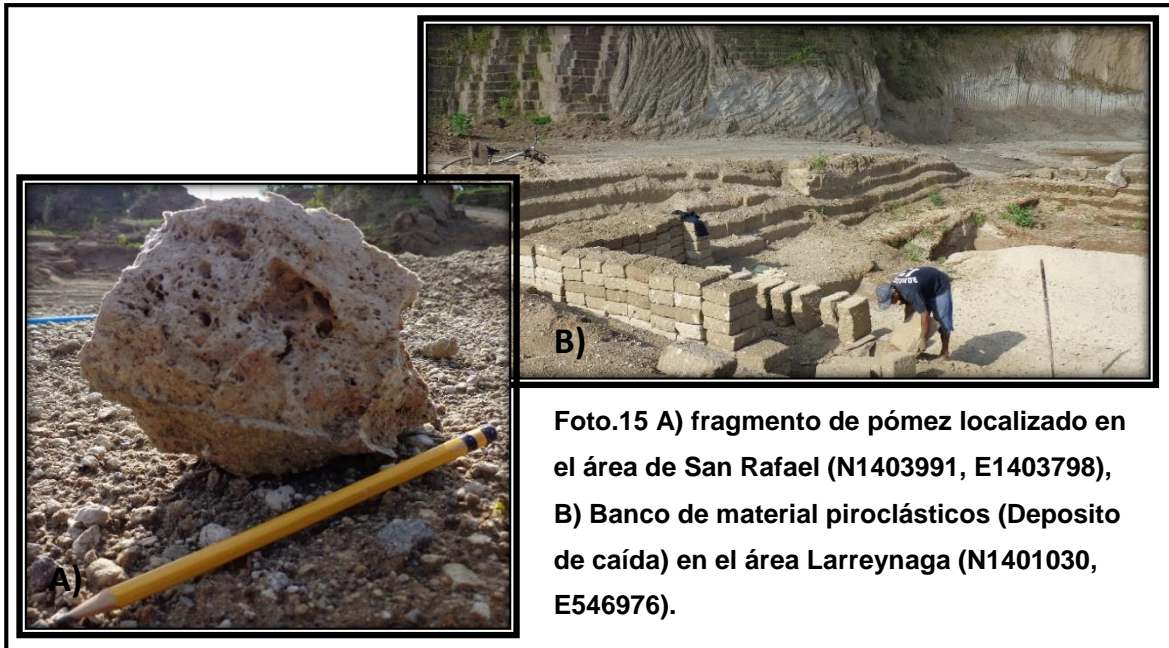


Foto.14 Lavas de tipo pahoehoe en el cerro La Encantada (N538675, E1416017).

3.1.5 Unidad de toba (Qv).

Esta unidad se concentra en la parte SE del área de estudio, con un espesor aproximado de 20 m. Morfológicamente se representa en las partes más bajas del área Larreynaga, formando parte del piso como se observa en el área de la comarca Larreynaga, El Piñuelar, San Rafael. Cubriendo una extensión aproximada de 30 km². Las tobas afloran en las partes bajas del área antes mencionadas de forma masiva y en bloques (Foto 15).

Macroscópicamente estas tobas tienen consistencia porosa, son de textura porfiritica las que se Formaron por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una actividad volcánica y presentan colores que varían de gris oscuro a gris claro, estas tobas están siendo afectada por meteorización en bajo grado.



3.1.6 Unidad de Sedimentos Aluviales (Qal)

Esta unidad se concentra, especialmente en la parte Sur, Norte y Este del área de estudio, con un espesor aproximado de 50 m, con una extensión de 124 km². Corresponde a la parte superficial de la secuencia estratigráfica y constituida por sedimentos finos recientes, y rodados de rocas de diferentes tamaños. Estos sedimentos se encuentran sobreyaciendo a las unidades de coladas andesíticas, coladas dacíticas, basaltos.

Morfológicamente son zonas planas constituidas por una densa red de ríos principales y tributarios formando numerosos esteros y pequeñas quebradas, como se observa en las áreas de San Rafael, El Estéreo, Galilao, El Piñuelar, al sur de Mina El Limón. Ilanos Rincón Largo, Ilanos El Coyolito, sitio El Tamagás, El Tanque, al Norte de Mina El Limón, sitio La Flor, Poza Hedionda, La Higuera, Caserío La Majada, lugar San Antonio, Guasimo Macho, El Blanquisco, Llano el Guayabo, El Soncoyal al Este y SE del área de estudio. Estos sedimentos fueron meteorizados y erosionados de los altos topográficos situados a sus alrededores, para luego ser depositado.

3.2 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL.

Las alteraciones hidrotermales afectan las distintas unidades de rocas del área, principalmente las andesitas y dacitas. Las alteraciones principales que se observan en la región son: propilítica, agilización y silicificación. Fácilmente se aprecia que las rocas están siendo alteradas por este tipo de minerales (Foto 16).



3.2.1 Alteración Propilítica.

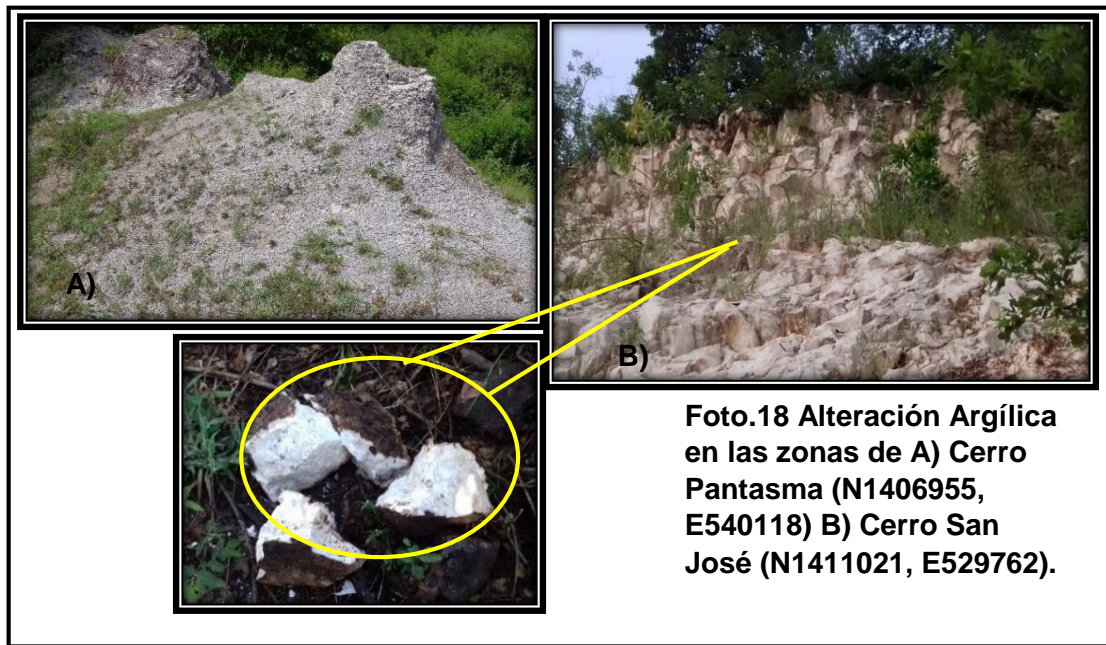
Este tipo de alteración es uno de los más comunes que se encontró en el área de estudio y se caracteriza por la presencia de clorita, calcita y plagioclasas, los cuales son producto de un reemplazamiento de minerales, debido a los grandes cambios de variables temperatura. Debido a este proceso las unidades litológicas que están siendo afectada por este tipo de alteración son principalmente unidad de andesita, dacita. Las áreas más comunes donde se encontró este tipo de alteración son: Los Congós (N1402362, E542237), cerro El Bonete, lomas Linda Vista (N1406484, E524672), y Pantasma (N1407497, E539848,) y cerro La Pelona (N1405263, E544879) (Foto17).



3.2.2 Alteración Argilica

Los factores más relevantes en la asociación mineralógica en los procesos de alteración hidrotermal son: La temperatura del fluido, el ph además de su temperatura, los cuales dan como resultado este tipo de alteración dando como consecuencia el reemplazamiento de minerales ya que estos se encuentran inestable en ambientes de este tipo (Barner, H.L, 1967).

Este tipo de alteración se encuentra afectando principalmente a la unidad de dacita, claramente se pudo apreciar como la roca se vuelve muy deleznable, producto del factor agua dando como resultado da una roca tipo arcillosa se observó principalmente en los lugares de cerro El Ojochón, lomas de Cebadillas y cerro El Tague (foto 18).



3.2.3 Alteración por Silicificación.

Los factores que controlan la alteración hidrotermal de tipo silicificación son la temperatura, composición del fluido, duración de la interacción agua-roca, composición de la roca (Barner, H.L 1967).

Se encuentra afectando principalmente la Unidad de Andesita, encontrándose a orillas de ríos, y quebradas, los sitios más representativos donde se pudo observar este tipo de alteración fueron San Jerónimo, EL Bonete y El Tagüe (Foto 19).



4.1 GEOMORFOLOGIA

La forma actual del relieve del área de estudio es consecuencia del proceso geomórfico, expuesto durante siglos a los efectos constantes de erupciones volcánicas que han venido dando forma y características particulares al territorio que ocupa este municipio. El área de estudio Pertenece a la provincia geomorfológica en la cordillera volcánica del Pacífico y la depresión nicaragüense.

La depresión nicaragüense es una extensa planicie donde se distinguen algunas formaciones de lomeríos los que se agrupan en sector norte extendiéndose en el territorio en dirección Noroeste-Sureste. De acuerdo con el desarrollo de las corrientes de agua y la importancia geomórfica el área de estudio se encuentra en la Región Noroccidental de Nicaragua, caracterizada por presentar drenajes bien marcados en zonas llanas, provenientes de los altos topográficos (Pérez, A, Marcela, 2008).

En base al análisis de la interpretación de fotografías aéreas (escala 1:40,000) e imágenes de satélites (landsat -2008, con resolución de 5m); análisis de mapas: topográfico, altimétrico, pendientes y modelo sombreado (escala 1:50,000); y observación de geo-formas del área, se clasificó el relieve, en las siguientes unidades geomorfológicas, cada una con sus subunidades correspondientes, tomando como base las clasificaciones geomorfológicas propuestas por Van Zuidam, 1986 (Anexo 1):

Unidad de Origen Denudacional (D.)

- Subunidad de Colinas Denudacionales (D3)

Unidad de Origen Volcánico (V)

- a. Subunidad de Coladas de Lava (V9)
- b. Subunidad de Remanentes de Calderas (V14)

Unidad de Origen Estructural (S)

- a. Subunidad de Topografía Ondulada (S1)

Unidad de Origen Fluvial (F)

- a. Subunidad de Llanuras Aluviales (F3)

4.1.1 Unidad de Origen Denudacional (D)

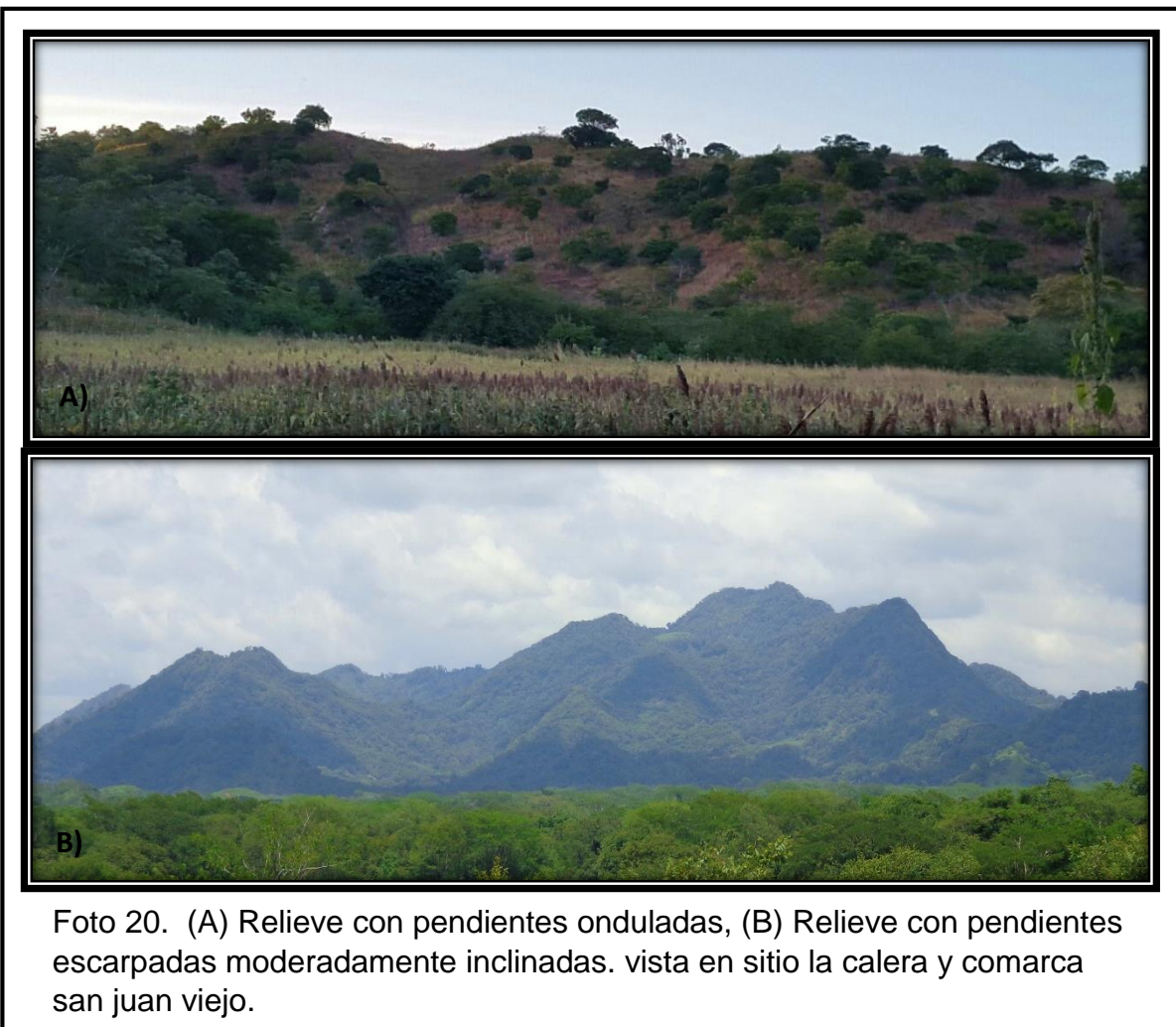
Se origina a partir de la acción erosiva y meteorización producida en las partes altas del área, para posteriormente depositarse al pie del talud y en algunos casos hasta las partes más bajas de la zona.

- **Subunidad de Colinas Denudacionales (D3)**

Subunidad concentrada en la parte Central Oeste y Sureste del área de estudio, en las comarcas Quebrada Honda, San Juan Viejo, Mina Santa Pancha, Entrada a las Ramadas, Lomas Las Matagalpa, Las Palancas, El Congo, Cerro el Pelón, Cerro el Rumbo, Lomas las Casitas, Lugar La Calera, Las Batellas, Ojochito. Siendo su máxima elevación Lomas Las Batellas (N1416543, E535861), ubicado al NW, con alturas de 300 m.

El relieve de esta subunidad se caracteriza por presentar colinas con escasa vegetación y pendientes inclinadas a moderadamente escarpadas y severamente disectadas, que varían entre 20°-60° aproximadamente, (Foto 20). La topografía es ondulada con curvas de nivel muy continuas a distanciadas en las zonas de valles y elevaciones que oscilan entre 100-400 metros sobre el nivel del mar.

Hacia el NE y NW de la subunidad en los sitios: Lomas las Batellas, El Ojochito y Lomas San José. El drenaje es dendrítico debido a las altas pendientes del terreno. Litológicamente esta subunidad se constituye de rocas ígneas volcánicas de composición andesita y basalto, con presencia de estructuras locales como: fallas, fracturas, diaclasas y estructuras en domino.



4.1.2 Unidad de Origen Volcánico (V)

Esta unidad se relaciona a las formas originadas a partir de la actividad volcánica ocurrida durante el Terciario, en donde la erosión no ha sido responsable de su construcción dando la forma actual del terreno de las siguientes subunidades:

- **Subunidad de coladas de lava (V9)**

Se localiza en la parte NW, NE y SE del área de estudio, en la Comarca Cebadilla, Cerro La Encantada, Comarca Quiebra Huevo, Cerro el Rumbo, Cerro El Orégano, El Puerton. Su mayor elevación se alcanza en Cerro El Zopilote, ubicado al NE, con alturas de 410 m.

El relieve de esta subunidad se caracteriza por mostrar cuevas con pendientes suaves a moderadamente escarpadas y ligeramente disectadas, que varían entre 0°-60° aproximadamente (Foto 21). La topografía es ondulada a moderadamente abrupta con curvas de nivel seguidas a un poco separadas en un rango de 0 a 20 m a medida que disminuyen las elevaciones, las cuales oscilan entre 30-600 metros sobre el nivel del mar.

El drenaje característico es dendrítico debido a las altas pendientes del terreno formado en los alrededores de los puntos máximos de estructuras volcánicas antiguas. Litológicamente esta subunidad está constituida por flujos de rocas ígneas volcánicas de composición andesítica – Basáltico y aglomerado que están siendo afectadas por fracturas y diaclasas. Su origen se debe a la acumulación de magma fluido a través de erupciones efusivas de estructuras volcánicas Terciarias.



- **Subunidad de remanentes de calderas y estructuras semicirculares (V14)**

Esta subunidad se encuentra distribuida en la parte Noreste, Noroeste y Sureste del área de estudio, muy representativo en las áreas de mina el Limón, cerro la Encantada, cerro El Ojochón y cerro el Chúcaro. Su máxima elevación es el cerro El Chúcaro (N140001, E539422), ubicado al SE con alturas de 600 m.

El relieve se distingue por exponer cordilleras con pendientes inclinadas a muy escarpadas y moderadamente disectadas, que varían entre 20°-80° aproximadamente (Foto 22). La topografía es moderada a abrupta con curvas de nivel bastantes continuas y elevaciones que oscilan entre 40-600 metros sobre el nivel del mar.

Los patrones de drenaje representativos son radiales y anulares debido a las altas pendientes alrededor del punto máximo del terreno haciendo que los cauces sigan líneas estructurales hacia afuera o hacia la parte interna de la caldera. Litológicamente esta subunidad está formada por efusiones de rocas ígneas volcánicas de composición andesítica y aglomerado.



Foto 22. (A-B) Relieve con altas pendientes moderadamente muy disectadas el drenaje característico es de tipo radial y anular.

4.1.3 Unidad de Origen Estructural (S)

Esta unidad se relaciona a las formas originadas a partir de la interacción entre los factores tectónicos producidos a lo largo de zonas de fallas, dando la forma actual del terreno de las siguientes subunidades:

- **Subunidad de topografía ondulada (S1)**

Subunidad localizada en la parte Norte de lomas Las Punta, loma Los Micos en la parte SE cerro Zonchiche, Lugar el Quebracho, Loma El Macho. Siendo su máxima elevación la loma Los Micos (N1418350, E533600), ubicado al Norte con alturas de 50-120 m.s.n.m.

El relieve se define por mostrar cuestras con pendientes suaves a moderadamente inclinadas que varían entre 0°-40° aproximadamente (Foto 23). La topografía es ondulada con curvas de nivel un poco separadas y elevaciones que oscilan entre 20-120 m.s.n.m.

Litológicamente esta subunidad está formada por rocas ígneas volcánicas de composición andesita, basáltica, afectadas por estructuras locales como: fallas y diaclasas. Su origen se atribuye a la actividad del vulcanismo fisural Terciario.



Foto 23. Relieve suave a moderadamente inclinadas que varían entre 0-40°. Lugar los micos.

4.1.4 Unidad de Origen Fluvial (F)

Esta unidad se relaciona a las formas originadas a partir del transporte, depositación y relleno de materiales, efectuado por los ríos y quebradas, alcanzando amplitud en determinadas fases del desarrollo del drenaje, así como en diversos sectores del mismo.

- **Subunidad de llanuras aluviales (F3)**

Esta subunidad se encuentra ampliamente distribuida en la parte Norte, Este y Sur en las comarcas llanos El Coyolito El Tamagas, La Higera, El poblado Vizcaino, lugar El Esterio, El Socorro, Toro Pinto y El Papalote. El relieve se caracteriza por tener llanos con pendientes suaves que varían entre 0°-20° aproximadamente.

Litológicamente esta subunidad está constituida por sedimentos aluviales provenientes de rocas volcánicas con composición andesítica y piroclásticas. Su origen se debe a la depositación de materiales aluviales por parte de los ríos que la atraviesan, los cuales acumulan en forma vertical los diferentes tipos de depósitos aumentando su altura con el tiempo. La topografía es casi plana y escasamente irregular con curvas de nivel bastante separadas y elevaciones que oscilan entre 0-150 m.s.n.m. Los patrones de drenaje de tipo dendrítico debido a la uniformidad en la pendiente del terreno.

5.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El ambiente estructural actual de Larreynaga es a través de la interacción de las placas tectónicas, las cuales han provocado esfuerzos de compresión y extensión que sobrepasan la resistencia mecánica de las rocas, produciendo una deformación permanente y dando como resultado estructuras geológicas regionales y locales que se muestran en el área.

El estudio se realizó superficialmente, donde las rocas son deformadas de forma frágil, lo que da como resultado zonas de cizalla, en donde estos procesos pasan a ser zona de fallas y es aquí donde se utilizan los criterios de cizalla e indicadores cinemáticos con el objetivo de determinar el sentido de los movimientos de los bloques en las zonas de fallas.

Como resultado de la interpretación de fotografías aéreas (escala 1:40,000) e imágenes de satélites; así como, análisis de mapas topográfico, altimétrico, de pendientes y modelo de sombreado (escala 1:50,000), combinado con la interpretación de los datos estructurales levantados en el área, se identificaron tres fases de fallamiento que corresponden a una secuencia geológica producida por eventos tectónicos y volcánicos.

5.2 Definiciones Teóricas.

La corteza terrestre está expuesta a esfuerzos que tienden a desplazar y a distorsionar las rocas, dando como resultado una serie de comportamientos a continuación. Elástica: cuando se aplica esfuerzo la roca se deforma, pero recupera su originalidad. Plástica: cuando se aplica esfuerzo la roca se deforma y no recupera su estado original, como es el caso del área de estudio. Visco-elástica: cuando se aplica esfuerzo la roca se deforma y recupera su originalidad con el tiempo.

La **deformación** de una roca es el cambio de su tamaño, forma y localización bajo la influencia de esfuerzos tensionales y compresionales en la corteza terrestre. En dependencia de la composición química, contenido de agua, temperatura y presión confinante de la roca (Tolson, 1996), el mecanismo de deformación puede ser:

Frágil: cuando el cuerpo se fractura y deforma por un esfuerzo, existiendo pérdida de cohesión, típica de rocas ígneas volcánicas y plutónicas como las encontradas en el área de estudio. **Dúctil:** cuando el cuerpo no se rompe solo acumula esfuerzo y no existe pérdida de cohesión.

La deformación de la roca depende de los niveles de profundidad que se encuentre. Las rocas superiores a la corteza terrestre son deformadas frágilmente, lo contrario de las que se encuentra a mayor profundidad que tienen un comportamiento dúctil. La profundidad en que la deformación pasa de frágil a dúctil, es conocida como la *transición dúctil-frágil* (Fig.04); esta generalmente se encuentra a unos 10-15 Km bajo la superficie terrestre (Sibson, 1990). En dicha transición se desarrollan ambos tipos de deformación, mientras que por encima o por debajo la importancia relativa de una de estas disminuye progresivamente.

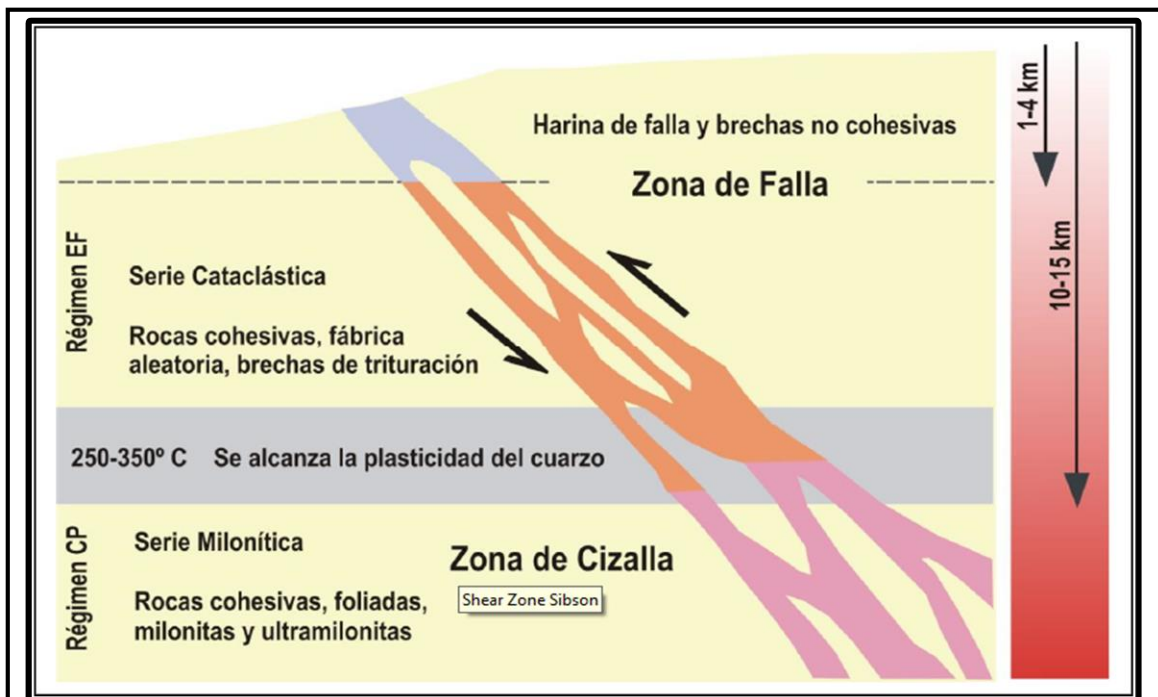


Figura 4. Esquema de una zona de cizalla y rocas asociadas. Transición dúctil-frágil en líneas verticales (Sibson, 1990).

5.2.1 Criterio de Cizalla.

Una zona de cizalla corresponde a una ancha zona de deformación generada bajo condiciones dúctiles- frágiles. Las condiciones de las zonas de cizalla pueden ser de carácter local o regional. De acuerdo a la cantidad de matriz generada durante el proceso de cizalla, la roca se clasifica en los siguientes tipos:

Brecha de falla: fragmentos de rocas subangulares, originadas por la interacción Mecánica entre dos bloques.

Harina de falla: (gauge, jaboncillo o arcilla de falla): rocas poco consolidadas y deleznales que mezclado con agua genera zonas localizadas y de poco espesor en donde aparece un material pastoso, en general semejante a una arcilla, ejemplo de esto se muestra en la Falla Los Congós (N1402362, E542237) donde se encontró roca de tipo andesita.

- **Existen dos tipos de Cizalla por su mecanismo deformación.**

Cizalla Pura: Las estructuras se deforman de manera coaxial, no rotacional y simétrica (Fig.05), ejemplo de este tipo de cizalla es la formación de depresiones tectónicas y pilares tectónicos, como los encontrados en la parte denominados en este trabajo como Depresión Tectónica, (Mickzie, 1978).

Cizalla Simple: Las estructuras se deforman de manera no coaxial, rotacional y asimétrica como es el caso de fallas listricas, en donde el cambio de ángulo de la falla principal origina rotación en los bloques. Como el encontrado camino a la °calera (N1403953, E0539906) en la que se encontró una cizalla originada a partir de una falla listrica sintética. La cual produce estructuras en domino debido a la rotación de la falla (Wernick, 1981,1982).

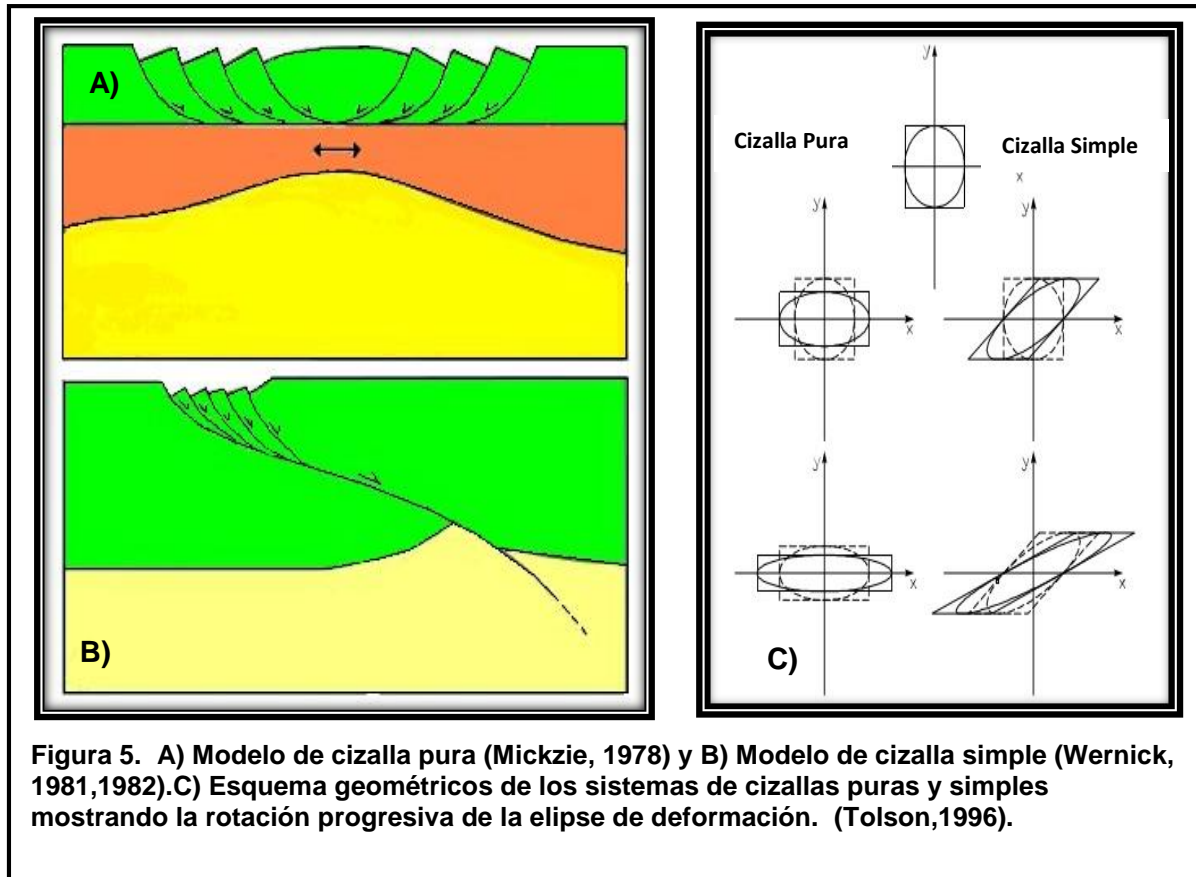


Figura 5. A) Modelo de cizalla pura (Mickzie, 1978) y B) Modelo de cizalla simple (Wernick, 1981,1982).C) Esquema geométricos de los sistemas de cizallas puras y simples mostrando la rotación progresiva de la elipse de deformación. (Tolson,1996).

5.3 Indicadores Cinemáticos:

Los Criterios fundamentales más utilizado para definir el sentido de los movimientos de los bloques que se desplazan en una zona de cizalla es la observación y determinación de la separación de marcadores estratigráficos lo que nos dan una idea de cómo se dio este movimiento, pero algunas rocas carecen de este criterio principalmente las rocas ígneas, es por ello que se debe acudir a las estructuras secundarias ocurridas durante el fallamiento conocidas como **Indicadores Cinemáticos** Las cuales están formados por:

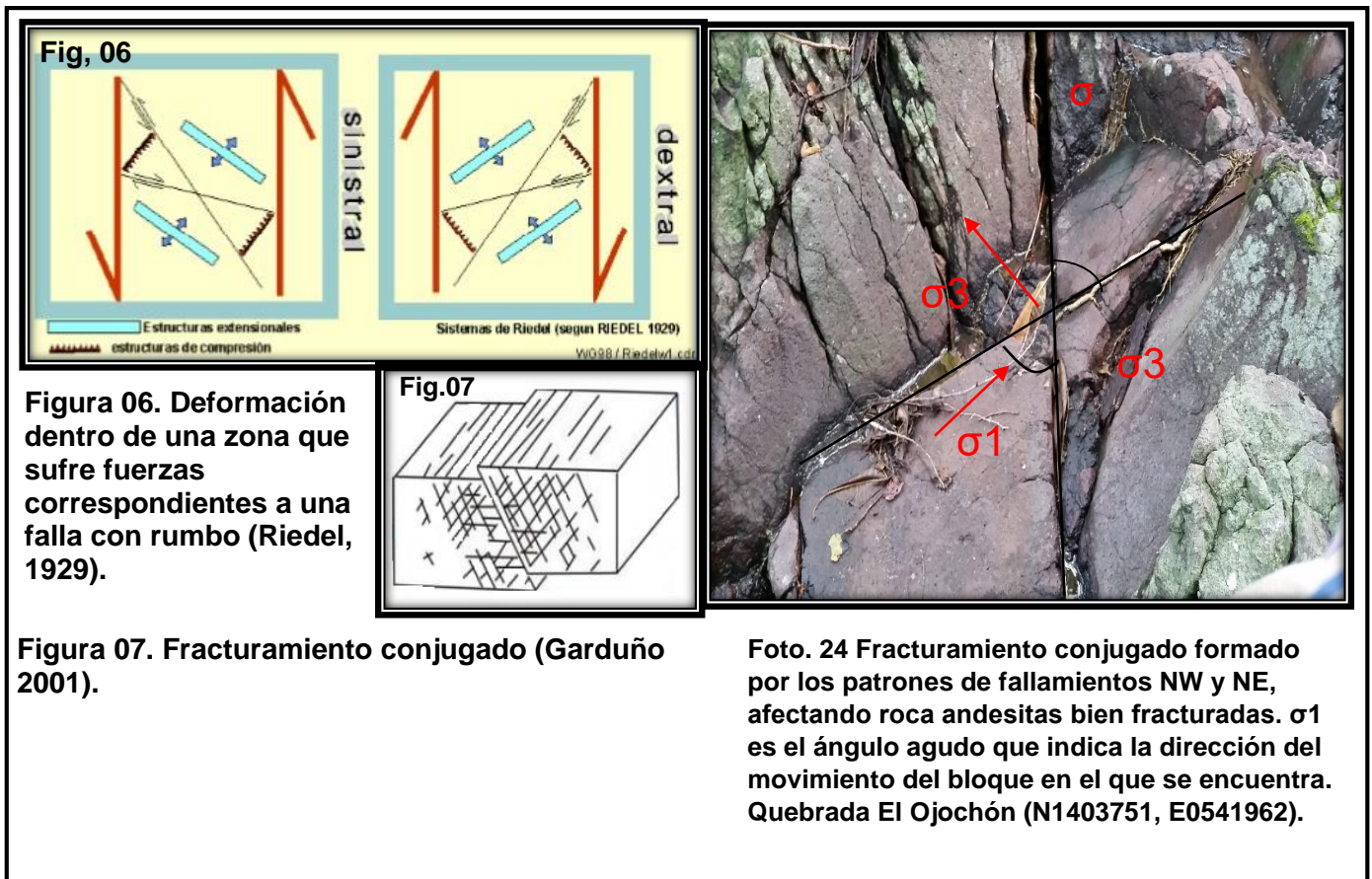
- La presencia y geometría de juntas pre-existentes.
- Propiedades físicas de la roca como: porosidad, composición y propiedades mecánicas.
- Condiciones de esfuerzo y deformación (cantidad de deslizamiento, porcentaje de deformación).

Para establecer la cinemática que actúa en el área de Larreynaga se establecieron los siguientes indicadores cinemáticos.

- **Fracturamiento conjugado.**

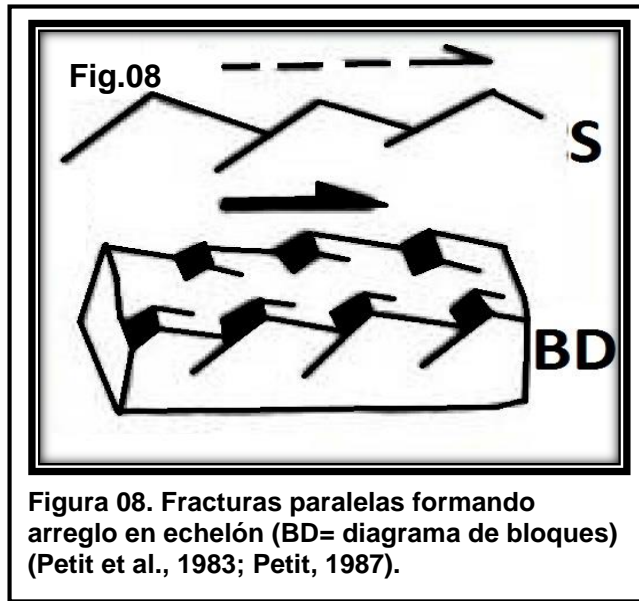
Se produce en zonas de cizallas en donde se deforman las paredes de los bloques de la roca involucrada, formando un ángulo agudo entre ambas fracturas indicando la dirección del movimiento del bloque en que se encuentra contenido. (Fig.06,07)

Los sistemas conjugados se manifiestan en los diferentes fallamientos encontrados en el área de Larreynaga principalmente en cortes de carretera, ríos y quebradas, afectando las rocas (Foto 24), sus principales afloramientos son quebrada El Ojochon (N1403751, E0541962) y falla loma el aparejo (N1410051, E0532789).



- **Fracturamiento Paralelo**

El fracturamiento paralelo es un sistema de fracturas que rumban en la misma dirección y delimitan zonas específicas de cizallamiento (Fig.8). Los sistemas paralelos se muestran en los diferentes patrones de fallamiento del área de estudio y se observan en ríos y quebradas afectando los diferentes tipos de unidades de roca del área de estudio.



- **Fallamiento Lítrico**

Es un fallamiento de tipo normal en donde el ángulo del plano de falla cambia de dirección ocasionando movimientos rotacionales en bloques delimitados por fallas sintéticas y antitéticas, las cuales son planos de fracturas que van paralelas y en contra del plano de falla principal formando las llamadas estructuras en dominó y los indicadores cinemáticos como clastos o sigmoides rotados. El fallamiento lítrico se observó únicamente en el patrón de fallamiento SE, afectando rocas volcánicas de composición andesítica (Fig. 09).

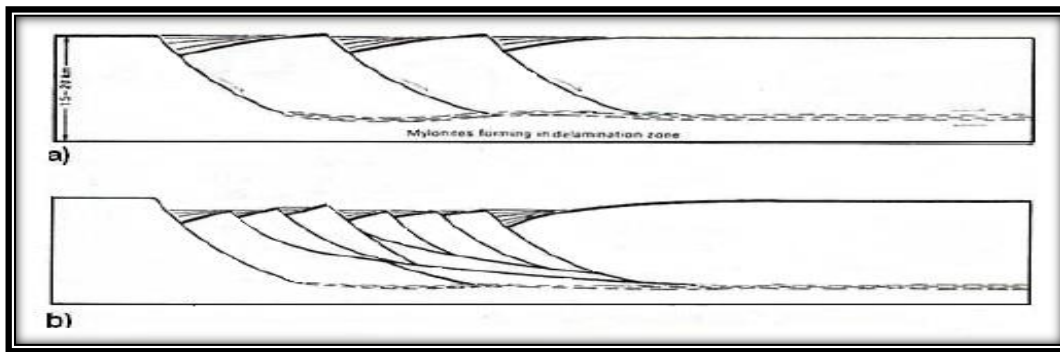


Figura 09. a) Fallas normales de alto ángulo. b) Fallas normales rotadas hasta ángulos bajos formando un estilo de deformación con bloques tipo dominó. (Lister y Davis, 1989).

- **Fracturas Secundarias asociadas a Fallas.**

Las fallas desarrollan una serie de fracturas secundarias cuya orientación y cinemática indican el sentido de desplazamiento de la falla principal. Estas fracturas pueden ser de cizalla R y P o extensionales T, en donde R apunta hacia el bloque que baja y la fractura P hacia el bloque que sube, (Tolson, 1996).

Fig.10

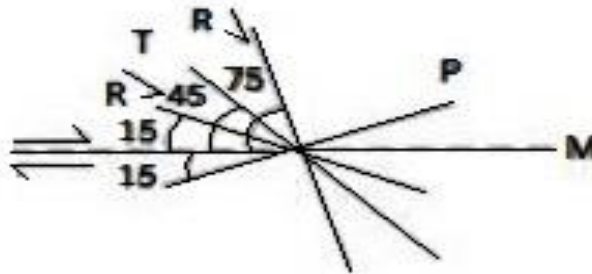
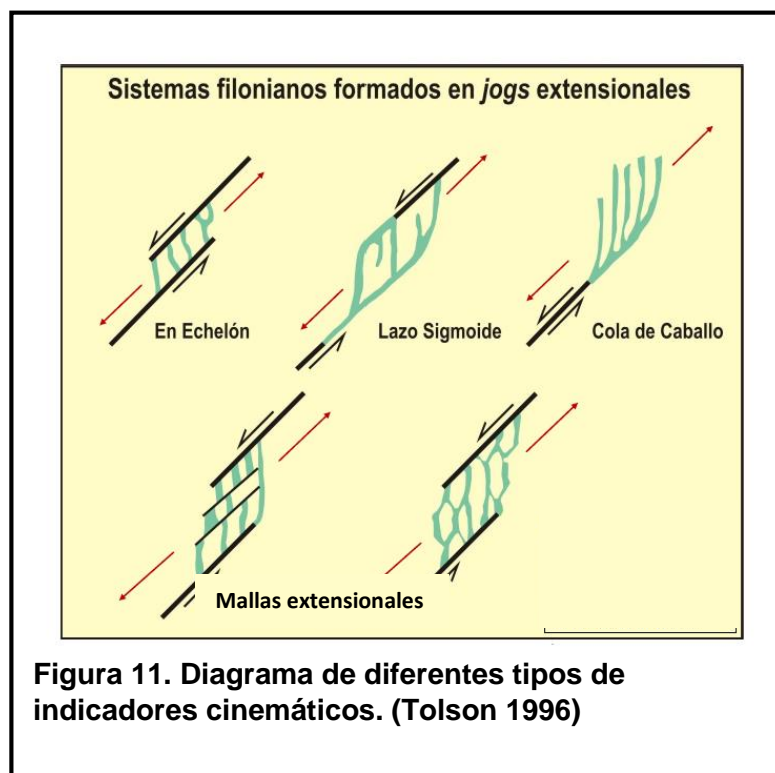


Figura 10. Fracturas secundarias asociadas a fallas, relacionadas con zonas de cizalla y zonas extensionales (Tolson, 1996).

- **Sigmoides**

Son lentes de cizallamiento que son formados por la intersección entre fracturas R y P en echelón, las cuales son originadas durante las fases iniciales de movimiento sobre una zona de fallas de deformación frágil. A través de estos lentes de cizallamiento o estructura sigmoidales se determina el sentido de movimiento, ya que los extremos de los sigmoides apuntan la dirección de cizallamiento. En muchas ocasiones la zona de cizalla es acompañada por un arreglo anastomosado de estructuras sigmoidales (García-Palomo, 2002) (Fig. 11).



- **Terminación en cola de caballo.**

Las fracturas pueden observarse de diferentes formas (Figura 12) en la superficie y los cortes de los afloramientos de rocas, clasificándose en diferentes arreglos geométricos, formadas por los patrones de fallamiento NE-SW se observan únicamente en paredes de los ríos y algunos cortes de camino se encuentran afectando las rocas de tipo basálticas.



- **Pliegues.**

Varias estructuras en terminos de anticlinales y sinclinales fueron alineados en areas especificas de Nicaragua, sistemas de plegamientos se observan en el margen NW de la Depresion Nicaraguense en la zona central de la provincia central los cuales estan ampliamente revelados por ejes predominante con direccion NE-SW variando hacia el Norte. Algunos pliegues estan siendo atravesado por tres sistemas de fallas con direccion NE-SW, NW-SE y N-S.(Llizequist y Hodgson 1983).

En el area de estudio se encontró un plegamineto con dirección NW-SE en la comarca La Calera con coordenadas N1404150, E537724 con una dirección de N15°W que se extiende hacia el Norte, cubriendo una extensión de aproximadamente un kilometro (Foto 25).



5.4 FASES DE FALLAMIENTO

En el área de estudio se definieron tres patrones de fallamiento principales con direcciones N-S, NE-SW, NW-SE; los cuales fueron clasificados en tres fases de fallamiento con actividad tectónica, en base al desplazamiento relativo entre ellas.

5.4.1 Fase de fallamiento N-S.

Primera fase de fallamiento que originó fallas, formando un lineamiento en echelón izquierdo con dirección preferencial N9°E aproximado N-S que actuaron en rocas de composición andesita y dieron lugar al emplazamiento de grandes estructuras volcánicas en dirección N-S, y NW como: caldera el limón, caldera las palancas. En las cuales se observó mineralización.

Esta fase de fallamiento está representada por cuatro fallas principales de carácter regional y un lineamiento, que se extiende desde el NW hacia el NE.

Las cuales son: falla San José, falla San Juan Viejo, falla Tecomapa, falla Loma las Casitas, lineamiento Porto Banco.

- **Falla loma san José.**

Es una estructura lineal situada al Oeste del área de estudio cerca del poblado El Limón esta falla tiene una longitud de 9.50 Km, extendiéndose desde el caserío cebadilla (N1410509, E528855), hasta finca Santa Emilia, (N1413834, E0528634) con una orientación N-S, con dirección preferencial N4°E, buzando al NE.

Morfológicamente está representada por escarpes en dirección NS, mostrando escalonamiento con saltos de hasta 400 m. La falla San José corta rocas de composición andesita y está compuesta por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 0.50 a 3 Km, formando zonas de relevo de hasta 500 m (Foto 26).



Foto. 26 Escarpe de los segmentos de falla San José, (N1412795, E528762) con dirección N9°E, en donde se puede observar su geometría en echelón izquierdo.

Los indicadores cinemáticos encontrados, corresponden a fracturas conjugadas, diagonales, fracturas subparalelas y sigmoides los que permitieron determinar la cinemática de esta falla, indicando un sentido de movimiento normal.

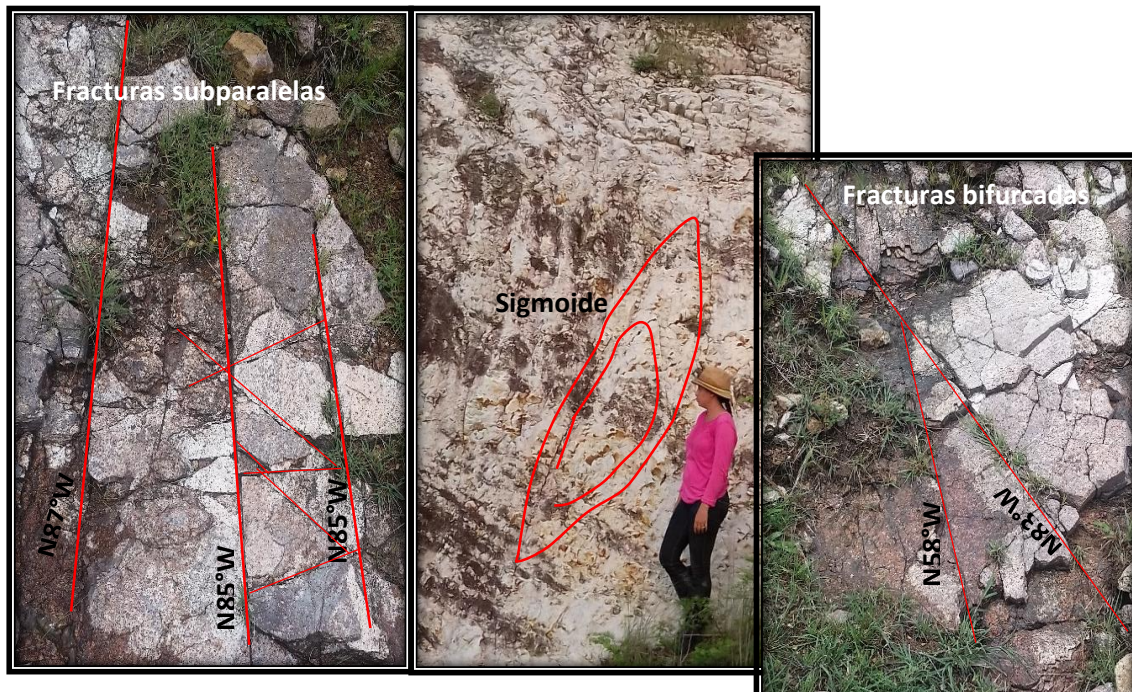


Foto.27 Principales indicadores cinemáticos medidos a lo largo de la falla San José.

- **Falla San Juan Viejo.**

Es una estructura lineal, localizada al SW del área de estudio, en la comarca San Juan Viejo tiene una orientación preferencial S13°E, cuya longitud es de 3.5 Km, extendiéndose desde las colinas de Venecia hasta la comarca San Juan Viejo. Coordenadas (N1407450, E529256).

Morfológicamente se manifiesta a través de cerros alineados afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas, posiblemente esta puede estar asociada a la estructura en echelón de la falla San José. Pero que es difícil comprobar puesto que se encuentran erosionados (Foto 28).



Foto. 28 Falla San Juan Viejo con un desplazamiento normal, coordenadas (N1407450, E529256).

Los indicadores cinemáticos encontrados a lo largo de la falla San Juan Viejo, son Principalmente sigmoides verticales, fracturas conjugadas, fracturas paralelas, brechas de falla, los que se midieron en las cercanías de la comarca san Juan Viejo (Foto 29).

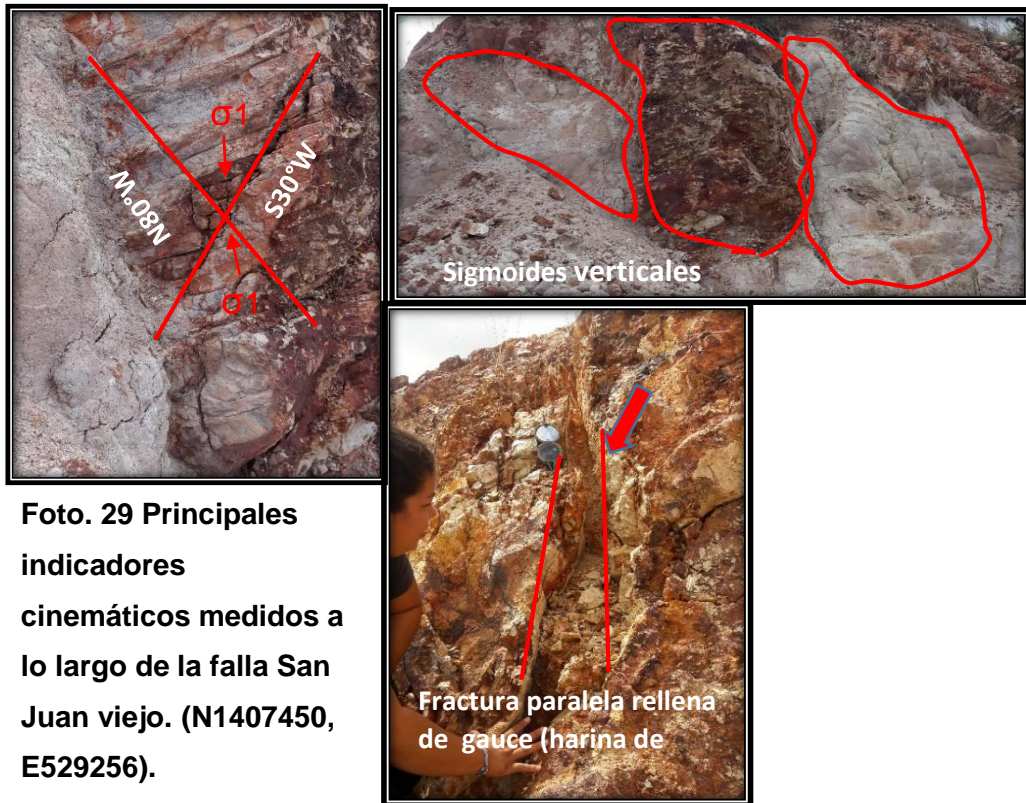
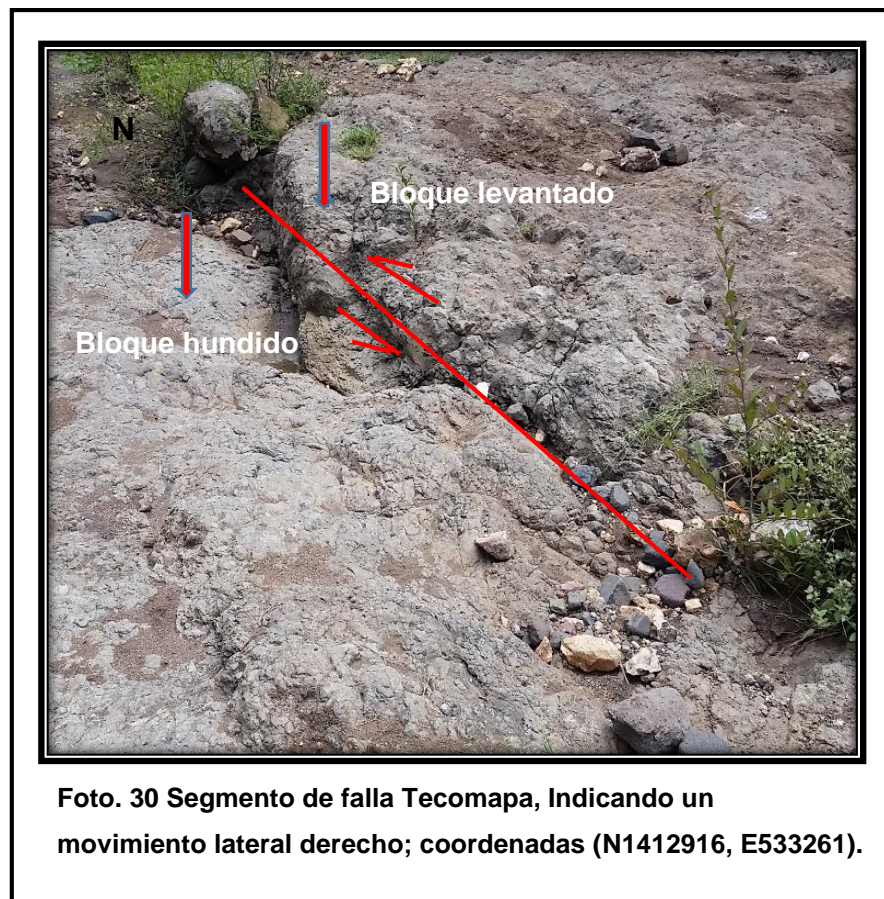


Foto. 29 Principales indicadores cinemáticos medidos a lo largo de la falla San Juan viejo. (N1407450, E529256).

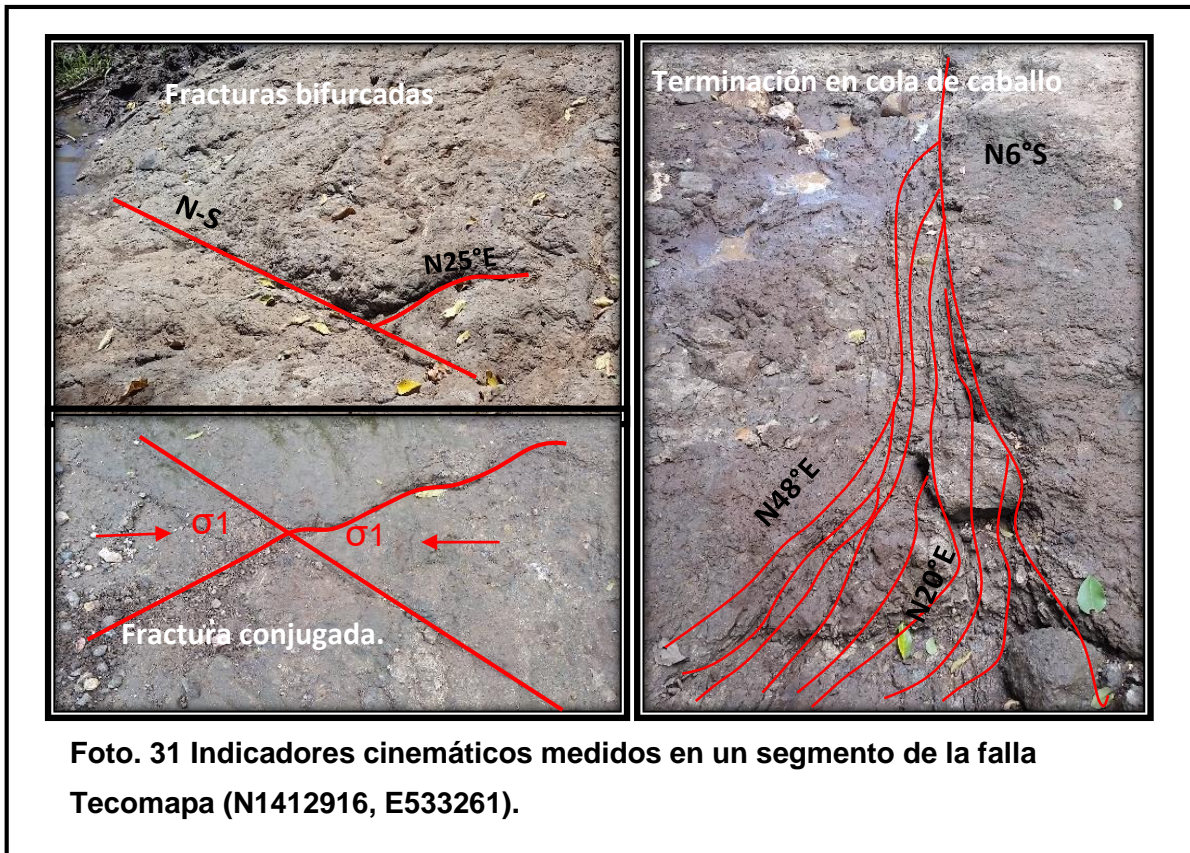
- **Falla Tecomapa.**

Es una estructura lineal situada al Noroeste del área de estudio cerca del caserío Tecomapa tiene una longitud de 4.75 Km, extendiéndose desde la finca el Carmen (N1412916, E533261) hasta la comarca Los Panales N°2 (N1415320, E533532) y está orientada NS.

La falla Tecomapa corta rocas de composición andesita y basaltos, esta puede estar orientada en la misma dirección de la falla Los Micos. Aunque fue difícil identificarla en el campo, se encontraron indicadores cinemáticos que define la existencia de esta falla y se determina que tiene un sentido de movimiento normal (Foto 30).



Los indicadores cinemáticos encontrados, corresponden a fracturas conjugadas, fracturas bifurcadas, fracturas terminación en cola de caballo, los que permitieron determinar la cinemática de esta falla, indicando un sentido de movimiento normal (Foto 31).



- **Falla loma Las Casitas.**

Es una estructura lineal ubicada en la parte sur del área de estudio, cerca del caserío el chúcaro, es un escarpe bien marcado, tiene una orientación preferencial N9°W, cuya longitud es de 3.5 Km, extendiéndose desde cerro El Chúcaro (N1402842, E538308) hasta las cercanías de lomas Las cacitas (N1405188, E537750). Morfológicamente se expresa por un escarpe en dirección NW afectando litológicamente a la unidad de coladas andesita y aglomerado.

La identificación de esta falla, fue tanto difícil de realizarse en campo ya que se limitaron los indicadores cinemáticos, pero a través de la interpretación, el análisis de fotografías aéreas y mapas preliminares, se determinó la existencia de esta falla y se define que tiene un sentido de movimiento normal con componente lateral derecho.

- **Lineamiento Porto Banco.**

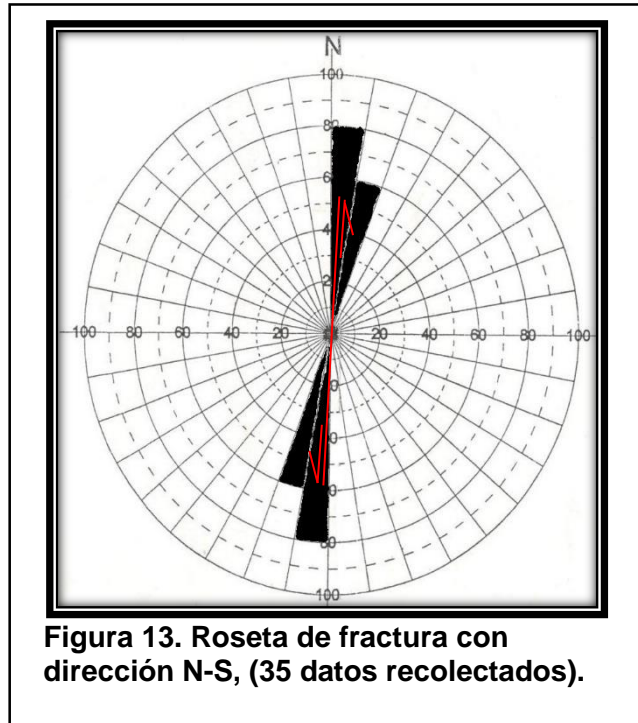
Se trata de una estructura lineal localizada al NE del área de estudio, Con una longitud de 5.4 km, extendiéndose desde el Norte lugar Monte fresco (N1415621, E538432) hasta el SE de la comarca Porto Banco (N1410820, E541844) con una orientación aproximada N10°W.

Morfológicamente, esta falla se expresa a través de un escarpe formando segmentos bien definido, afectando litológicamente a rocas de composición aglomerado y andesita. Esta falla se encuentra segmentada por lo que está siendo cortada por la falla Monte Fresco con dirección N25°E.

La identificación de el lineamiento no fue identificado en el campo se realizó en base a los rasgos morfológicos y con la información extraída a partir del análisis e interpretación de fotografías aéreas y mapas digitales.

- **Roseta de fracturas para Fallamiento N-S.**

Roseta de fractura obtenida a través de los datos levantados en campo en las fallas San José, falla San Juan Viejo, falla Tecomapa, falla Loma las Casitas, en los que se obtuvieron **35** datos recolectados con una dirección preferencial al N-S.



5.5.2 Fase de fallamiento NW-SE.

Segunda fase de fallamiento ocurrida después del emplazamiento de las estructuras volcánicas, en dirección N-S. Durante esta fase se originaron fallas con dirección preferencial N25°W, paralelas a la fosa Mesoamericana y a la Depresión de Nicaragua afectando rocas de composición andesita, dacita y basalto.

La mayoría de las fallas de esta fase son transtensionales, es decir, son normales con componente lateral derecho, las que definen bloques fallados semiescalonados, evidenciados por los numerosos escarpes sobresalientes en el área de estudio.

Esta fase está constituida por cuatro fallas principales de carácter regional concentradas en la parte central NW y Sur del área de estudio, las cuales son: falla La Flor, falla La Calera, falla Los Micos - La Batella, falla Samsón.

- **Falla la Flor.**

Estructura lineal localizada al Noroeste del área de estudio, ubicada en la comarca La Flor al NW. Con una longitud de 8.0 km, extendiéndose desde el Norte del cerro La Coyota (N1414779, E535853) hasta el SE de la comarca Flor (N1409053, E535072) orientación N20°W.

Morfológicamente, esta falla se expresa a través de un escarpe bien definido, afectando litológicamente a rocas de composición andesita, basalto. Esta falla está siendo desplazada con movimiento lateral derecho a la falla loma La Panda y falla La Flor.

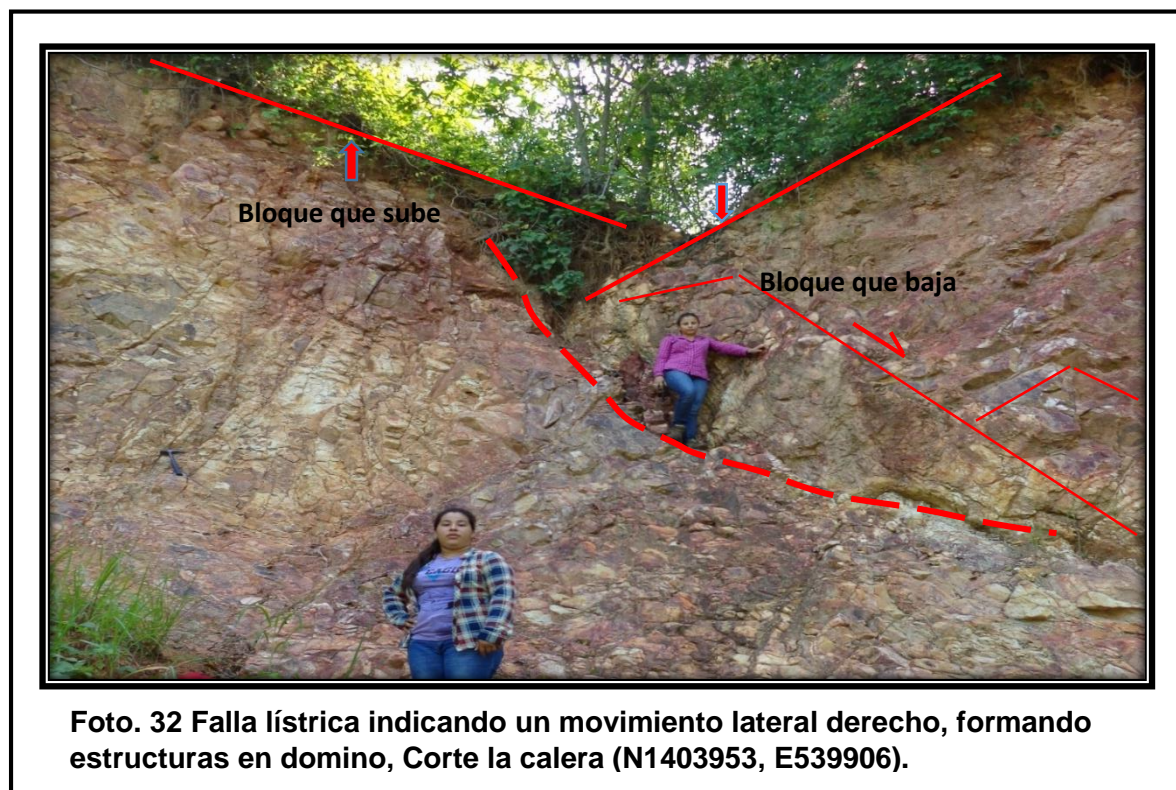
En base a los rasgos morfológicos y con la información extraída a partir del análisis e interpretación de fotografías aéreas, se determinó que la falla La Flor, está compuesta por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón derecho, separadas en tres segmentos que varían de 2.0 a 3.75 Km, formando zonas de relevo de 60 m aproximadamente. Aunque no fue identificada en el campo, con los datos obtenidos a partir de fotografías aéreas y mapas digitales, se definió que el sentido de movimiento de esta falla es transtensional, lo que quiere decir que es normal con una componente lateral derecha.

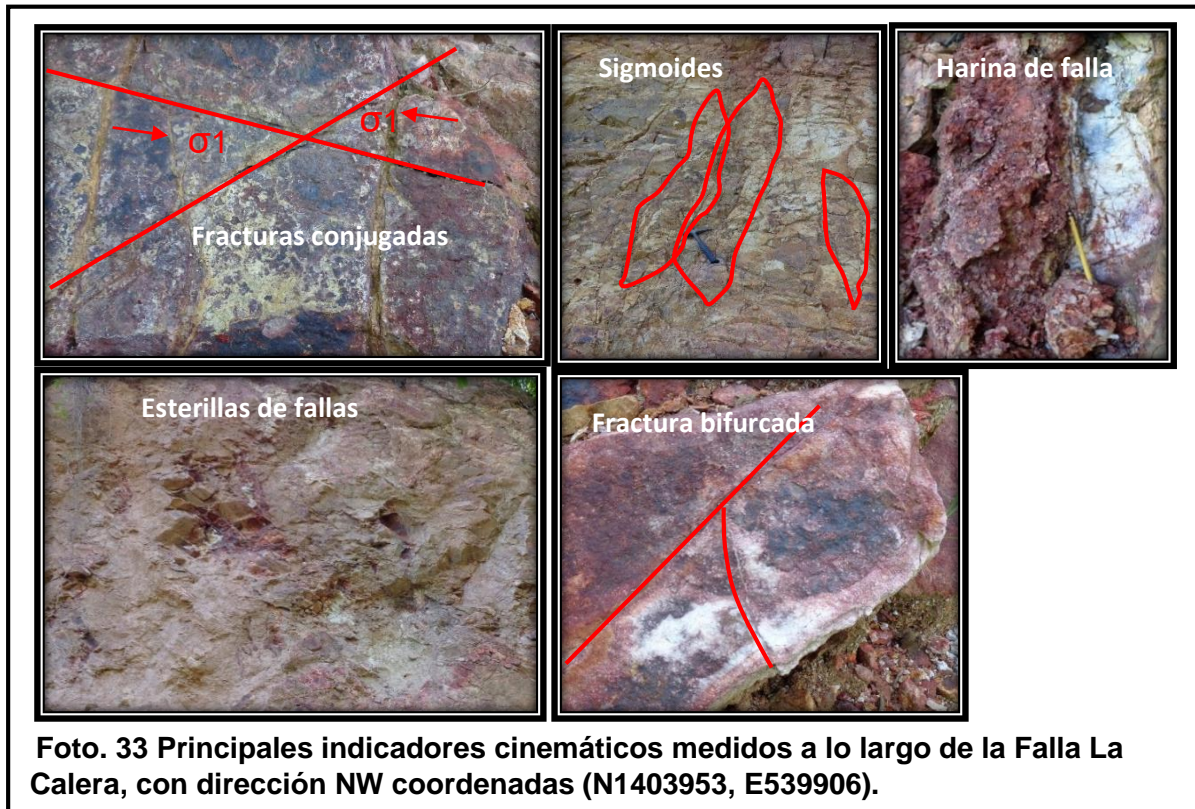
- **Falla la Calera.**

Consiste en una estructura lineal localizada en la parte Sur del área de estudio, cerca de la comarca La Calera tiene una longitud de 5 Km, extendiéndose desde el SW de la comarca La Calera (N1403953; E539906), hasta el NW del caserío San Antonio (N1407739, E539370) con orientación S60°E.

Morfológicamente se expresa a través de lineamientos en forma de domos y cerros truncados, afectando litológicamente a las unidades de coladas andesíticas, que se encuentran erosionadas, cuyos materiales están siendo depositados en las partes más bajas. Posiblemente esta falla puede estar formando parte de echelón derecho perteneciente a la falla La Flor.

En un corte se pudo apreciar una falla de tipo lístrica, en la que se observó mineralización presentando varios indicadores cinemáticos, entre ellos, fracturas paralelas, sigmoides, fracturas conjugadas, fracturas bifurcadas y estrías de falla (Foto 33), los cuales definen una dirección de movimiento normal con componente lateral derecho, comprobado también con ayuda de la interpretación de fotografías aéreas y del análisis de mapas preliminares.





- **Falla los Micos- Batellas (Estructuras en Domino).**

Se trata de cinco estructuras lineales regionales, situadas en la parte NW, del área de estudio cubren un área aproximada de 10 km, con longitudes entre 2.5 - 3 km hacia el SE, se extiende desde la loma Los Micos hasta comarca San Miguelito (N1415260, E536810), Con orientación preferencial N15°W.

Morfológicamente se expresa a través de cuatro escarpes bien definidos, en dirección NE, estructuralmente se desplaza con movimiento lateral derecho en dirección NE formando estructuras en domino con zonas de relevo de hasta 800m, girando a favor de las manecillas del reloj (Foto 34).

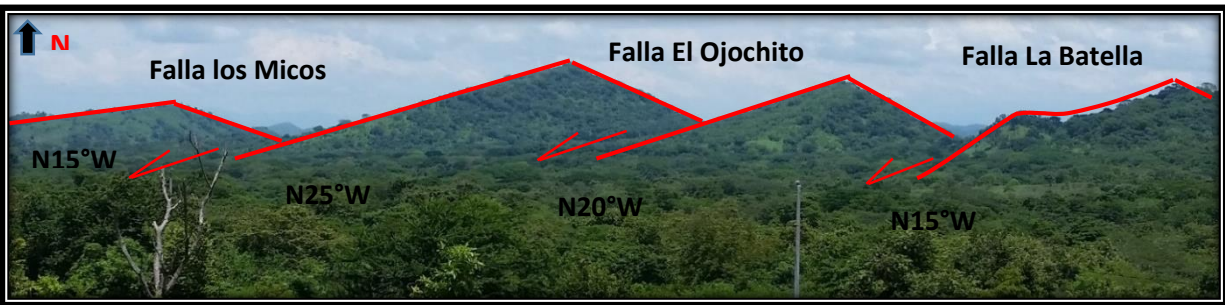


Foto. 34 Fallas formando una estructura en domino con una orientación N15°W, se puede observar el movimiento lateral derecho vista desde el cerro La Coyota (N144779, E535853).

En el área de estudios se encontraron los siguientes indicadores cinemáticos: fracturas paralelas, fracturas conjugadas, sigmoides, gauge (harina de falla), Afectando la unidad de basalto. (Foto 35)



Foto. 35 Indicadores cinemáticos que confirman le existencia de la falla Los Micos (N1418225, E532735).

- **Falla Samson.**

Estructura lineal localizada al SW del área de estudio, en la comarca Samson, al NE del cerro El Chúcaro; con una longitud de 5 km, extendiéndose desde el Sur de la comarca El Chúcaro (N140001, E539422) hasta el NW del lugar El Estéreo (N1404296, E535672) con orientación N48°W.

Morfológicamente, esta falla se expresa a través de un escarpe bien definido, afectando litológicamente a rocas de composición andesita y aglomerado desplazando con movimiento lateral derecho al SW del flanco Norte de la caldera El Chúcaro.

La falla Samson está formada por un segmento de 5 km con arreglo simple y tiene un sentido de movimiento normal con componente lateral derecho, el cual se identificó con ayuda de la morfología del terreno, del análisis e interpretación de fotografías aéreas y mapas preliminares (Foto 36).

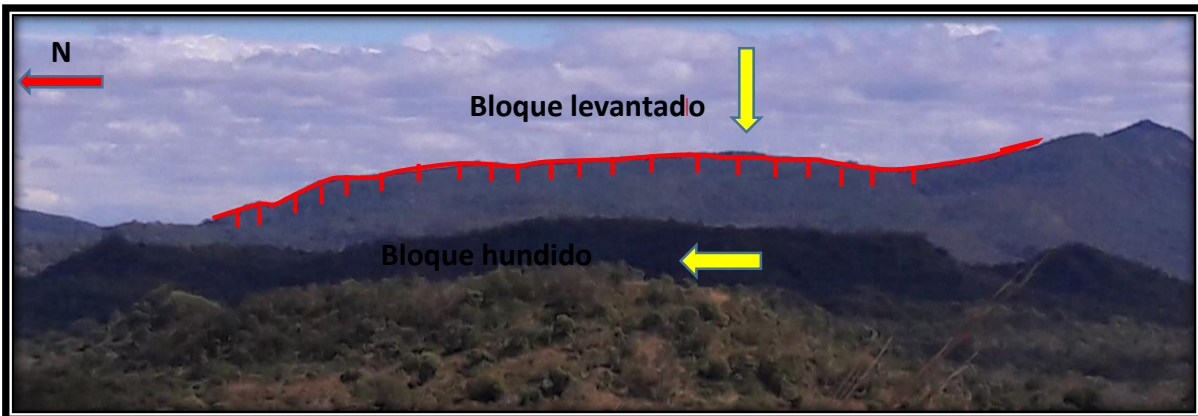
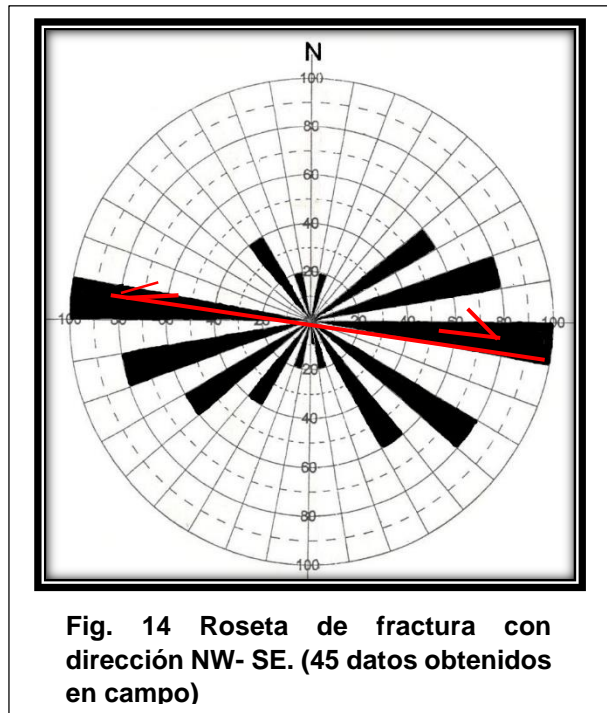


Foto. 36 Escarpe de falla Samson vista desde mina el limón donde se puede apreciar el comportamiento de sus bloques.

- **Roseta de fractura para el fallamiento NW-SE.**

Resultado de los datos obtenidos en campo en la falla La Flor, falla La Calera, falla Los Micos, falla La Batella, falla Samsón, en los que se hizo un levantamiento de **45** datos, determinando una dirección preferencial hacia el NW.



5.5.3 Fase de fallamiento NE-SW.

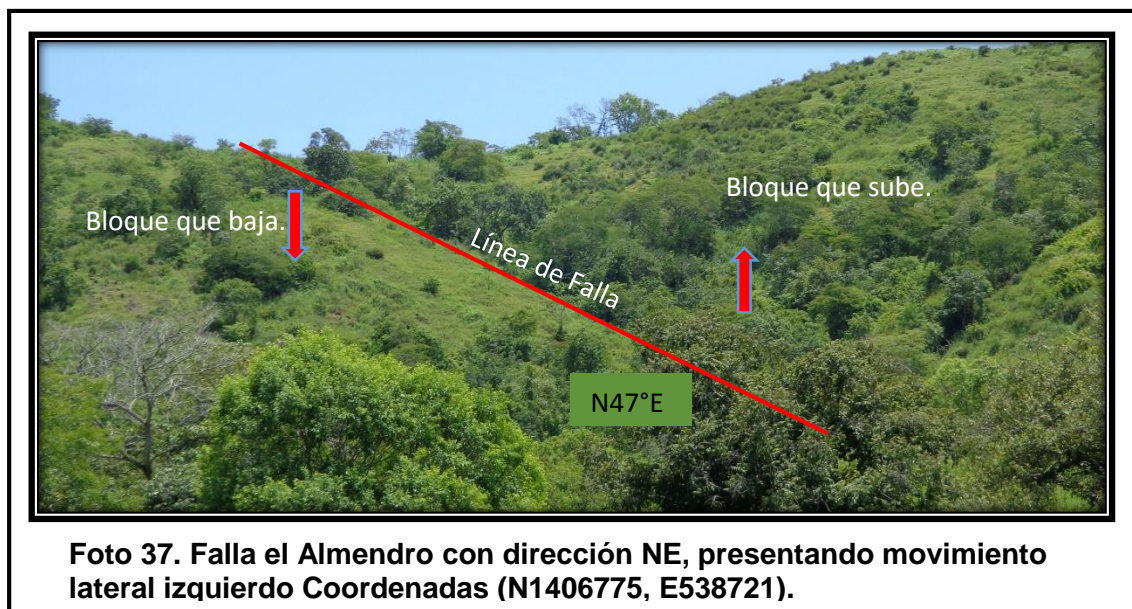
Tercera fase de fallamiento que ocasionó el desplazamiento de algunas estructuras circulares, durante esta fase se formaron fallas con dirección preferencial N50°E, estas afectan rocas de composición andesita, dacita y aglomerado. La mayoría de las fallas de esta fase son transtensionales, es decir son normales con componente lateral derecho, las que definen bloques fallados semi-escalonados, evidenciados por los numerosos escarpes sobresalientes en el área de estudio.

Se componen de cuatro fallas principales: fallas El Ojochón, falla Monte Fresco, falla El Aparejo, falla Las Palancas.

- **Fallas El Ojochón.**

Se define como un sistema páralelo compuesta por tres fallas principales: Falla Pantasma, falla el Almendro, falla Los Congós, Son fallas con una longitud de 2-3 km, extendiéndose sobre el cerro Pantasma (N1407497, E539848) y sobre las lomas El Almendro (N1406765, E538721) hasta las lomas El Congo (N1402362; E542237) con orientación preferencial N35°E.

Morfológicamente muestran un escarpe bien definido en dirección NE, desplazando con movimiento lateral derecho a la parte Sur de la falla Los Congos, y borde sur de la caldera El Ojochón afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas, coladas dacíticas y aglomerados. Estos sistemas de fallas están formados por un segmento de 1.6 km, 3.0 km y 3.75 km, respectivamente, con arreglo simple.



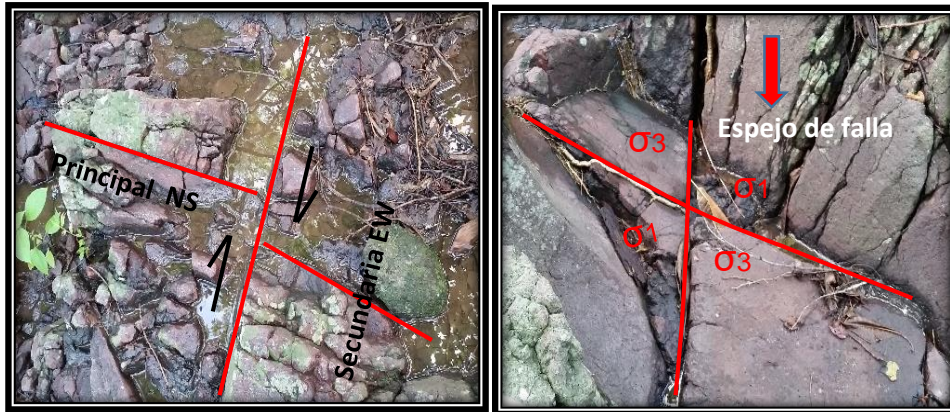


Foto. 38 Indicadores cinemáticos que confirman la presencia de una falla en Cerro El Ojochón. Coordenadas (N1403839, E541029).

La existencia de fracturas conjugadas, espejos de falla, estructuras secundarias señalan que la falla El Almendro es transtensional, lo que se entiende como falla normal con componente lateral izquierdo, corroborando lo interpretado a través de las fotografías aéreas y mapas digitales, (Foto 38).

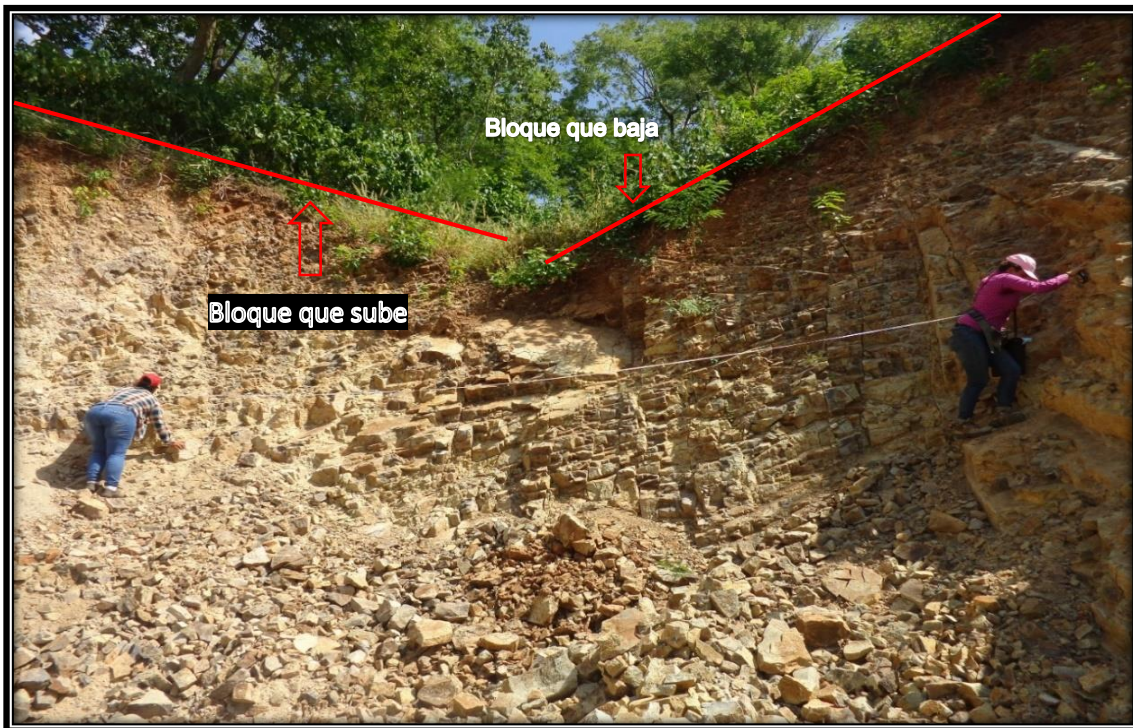


Foto 39. Falla los Congos. (N1402362, E542237) se observa el desplazamiento de los bloques, indicando un movimiento lateral derecho.

Esta falla presenta varios indicadores cinemáticos, entre los principales están, fracturas paralelas, fracturas en relay, estructuras sigmoidales verticales, espejo de falla y harina de falla los cuales definen la dirección del movimiento de la falla principal, catalogando esta falla como una falla transtensional, es decir, normal con componente lateral derecho, lo que también se comprobó mediante la interpretación y análisis de fotografías aéreas y mapas preliminares.

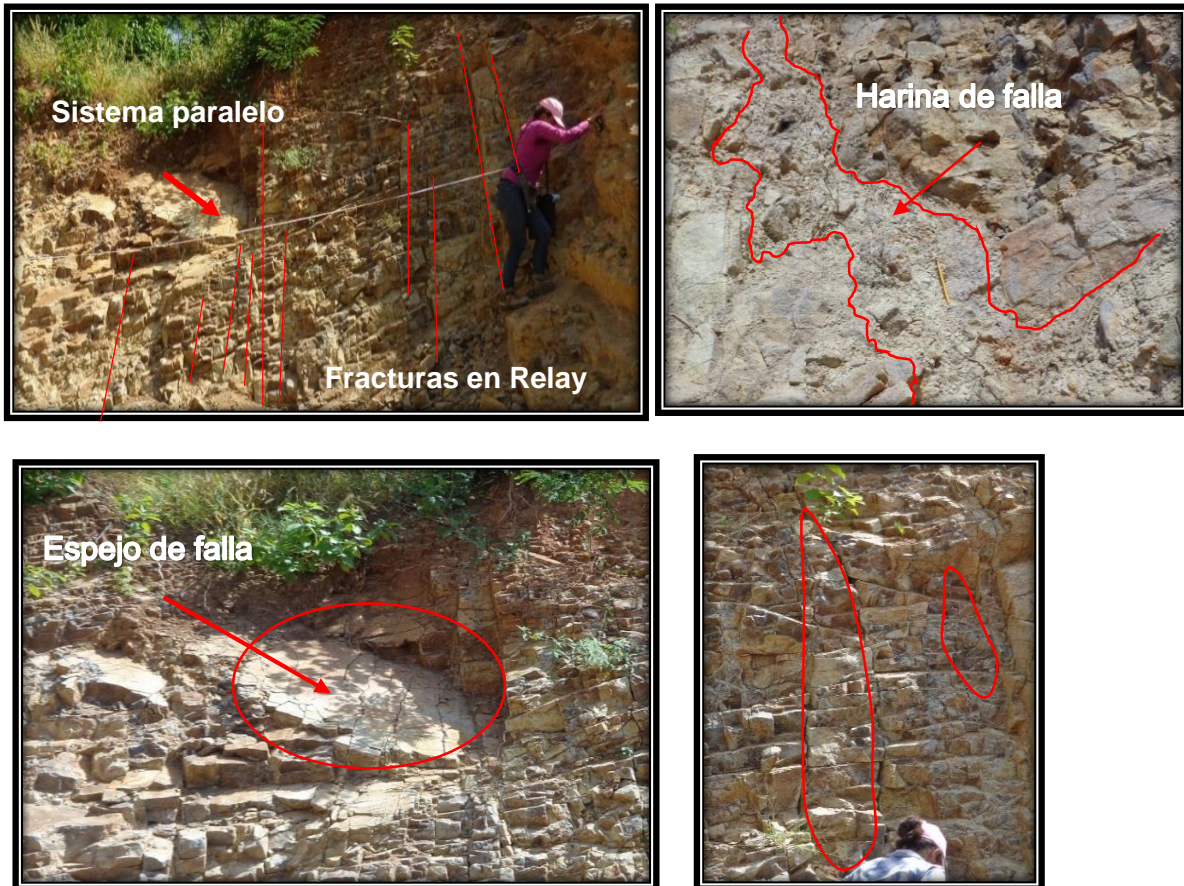
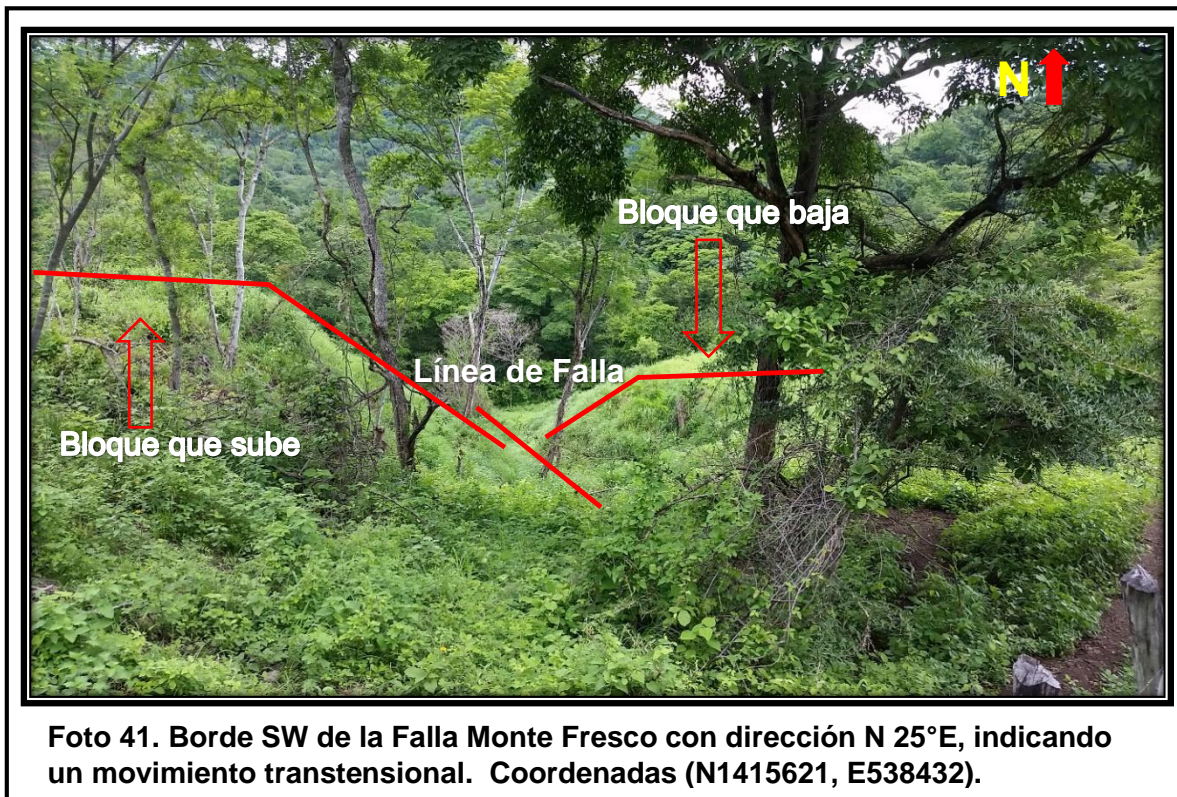


Foto. 40 Espejos de falla, fracturas paralelas, Relay, harina de falla y sigmoides verticales. Fueron algunos de los indicadores cinemáticos medidos en la falla los congos Encuentros (N1402362, E542237) los cuales reportaron un movimiento normal.

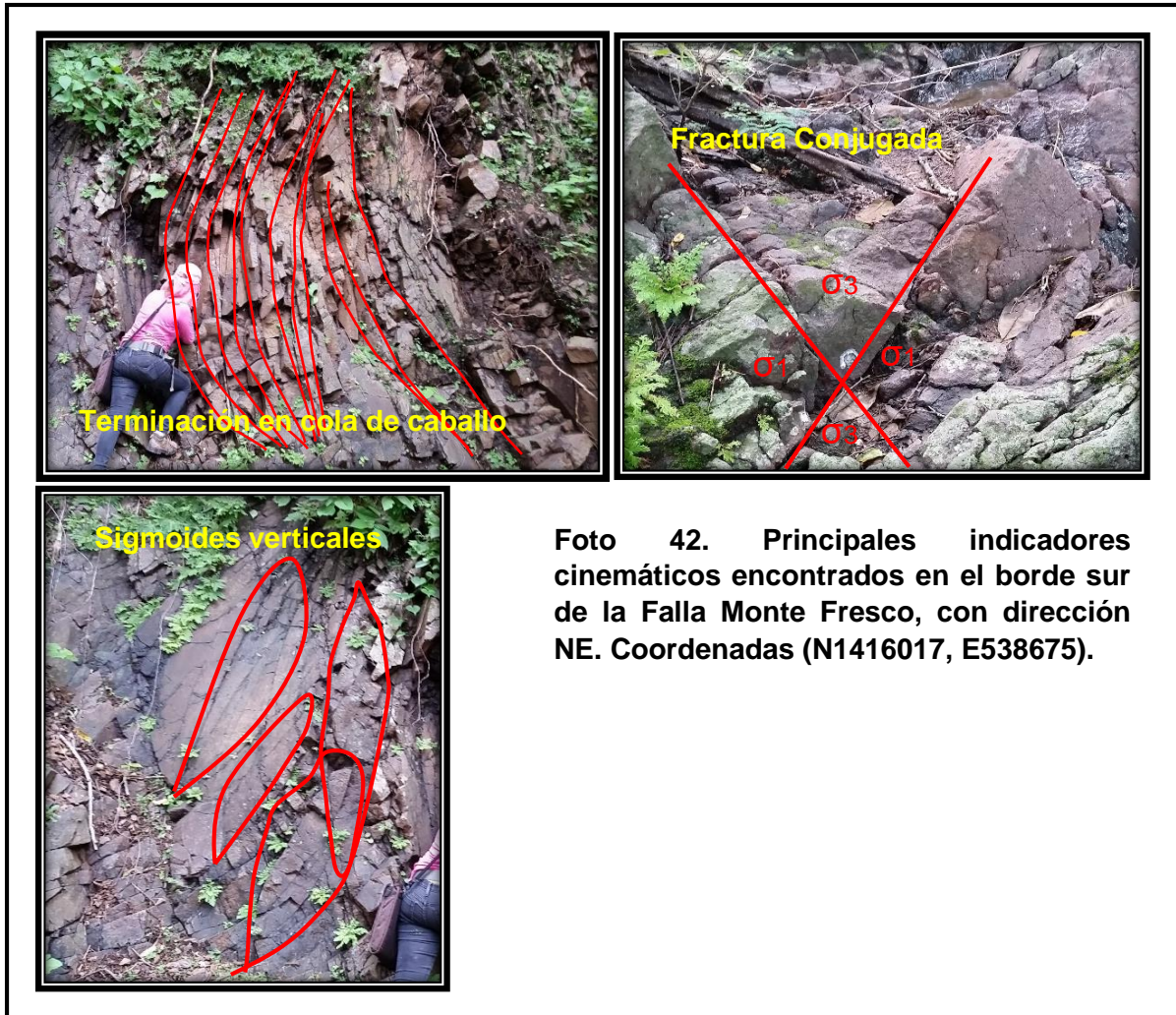
- **Falla Monte Fresco.**

Se define como una estructura lineal localizada en la parte NE del área de estudio, tiene una longitud de 3.5 km extendiéndose desde el lugar Monte Fresco (N1415621, E538432), hasta las cercanías de la comarca el Jiquilillo (N1417251, E538943) en dirección NE.

Morfológicamente expone un relieve bien marcado en dirección NE, delimitando la fase de fallamiento NE, se encuentra afectando litológicamente a la unidad de basaltos en el segmento inferior, la unidad de aglomerados en el segmento medio y andesita en el segmento superior.



Los indicadores cinemáticos medidos en los diferentes afloramientos fueron: fracturas conjugadas, sigmoides verticales y terminación en cola de caballo, a partir de las cuales se determinó, que el sentido de movimiento de la falla Monte Fresco es normal, corroborando lo mostrado por las fotografías aéreas y los mapas preliminares (Foto 42).



- **Falla el Aparejo.**

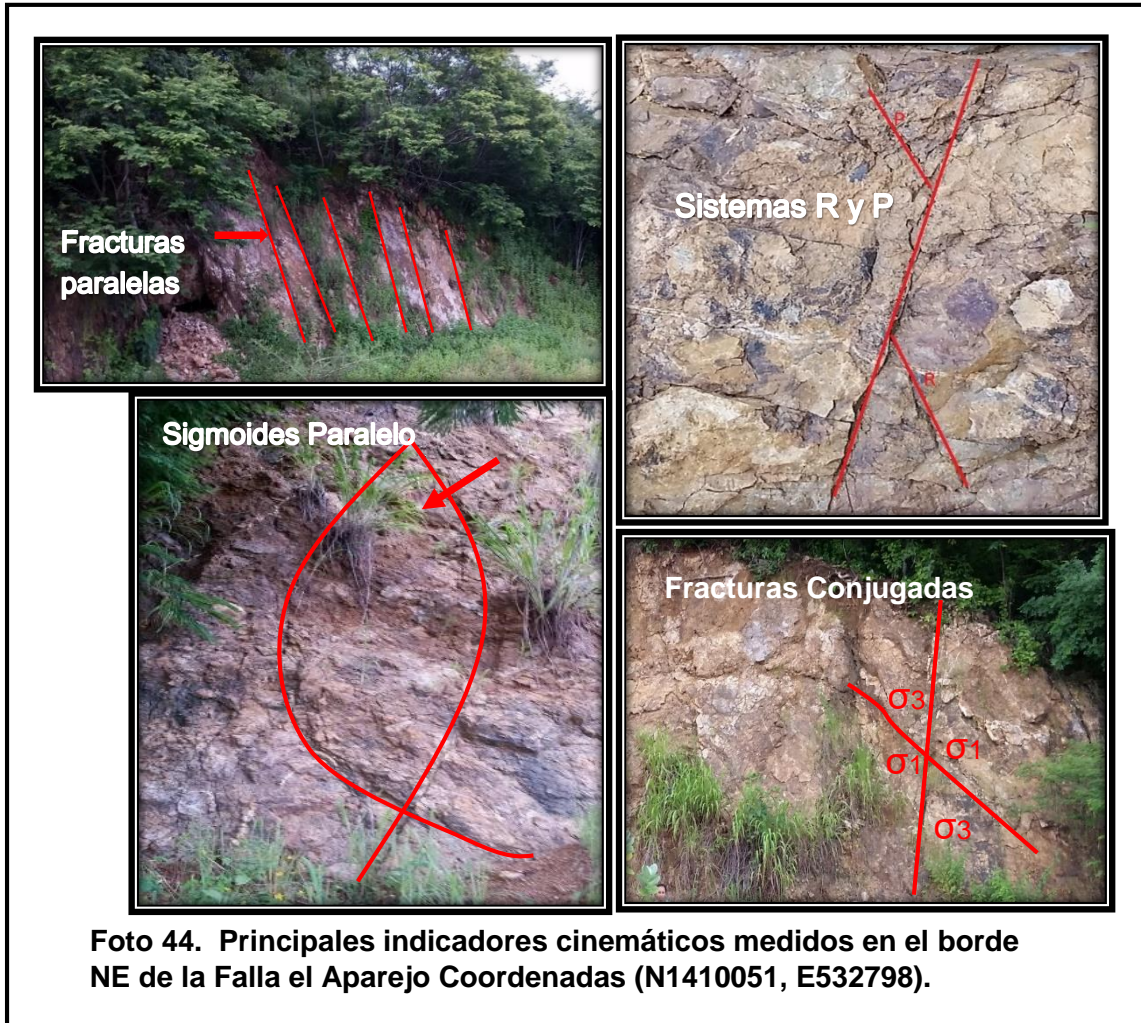
Es una estructura lineal ubicada en la parte NW del área de estudio, cerca del caserío Las Ramadas, tiene una orientación preferencial N75°E, cuya longitud es de 3 Km, extendiéndose desde el cerro El Porvenir hasta el cerro El Aparejo (N1410051, E532789).

Morfológicamente se expresa a través de lineamientos de domos andesíticos y cerros truncados, afectando litológicamente a las unidades de coladas de andesitas y sedimentos aluviales.

La Falla El Aparejo está constituida por dos de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 0.5 a 1 Km, con orientaciones de N60°E-N75°E y zonas de relevo de hasta 50m.



La presencia de estructuras en domino, sigmoides, fracturas conjugadas, Paralelas y fracturas R y P demostraron que esta falla es transtensional tipo normal con componente lateral derecho, coincidiendo con lo observado en fotografías aéreas y mapas digitales (Foto 43 y 44).



- **Falla Las Palancas.**

Se trata de una estructura lineal situada en la parte NW del área de estudio. Tiene una longitud de 6 Km, extendiéndose desde cerro El Bonete (N1409465, E529098) hasta el caserío Las Palancas (N1412425, E531648) con orientación preferencial N45°E.

Morfológicamente, se caracteriza por mostrar un marcado escarpe en dirección NE con cerros truncados (Foto 45), afectando litológicamente a rocas de composición andesita., en base a los rasgos morfológicos, fotografías aéreas, mapas digitales y mapas preliminares, se definió que el sentido de movimiento de esta falla es transtensional, lo que quiere decir que es normal con una componente lateral izquierda, desplazando el borde Sur y borde NE de la caldera las palancas.

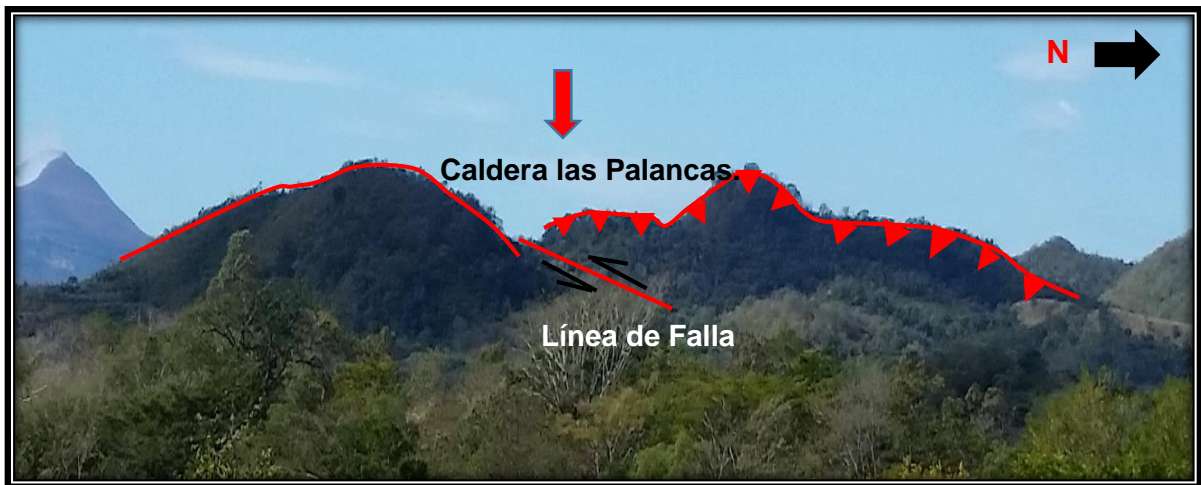
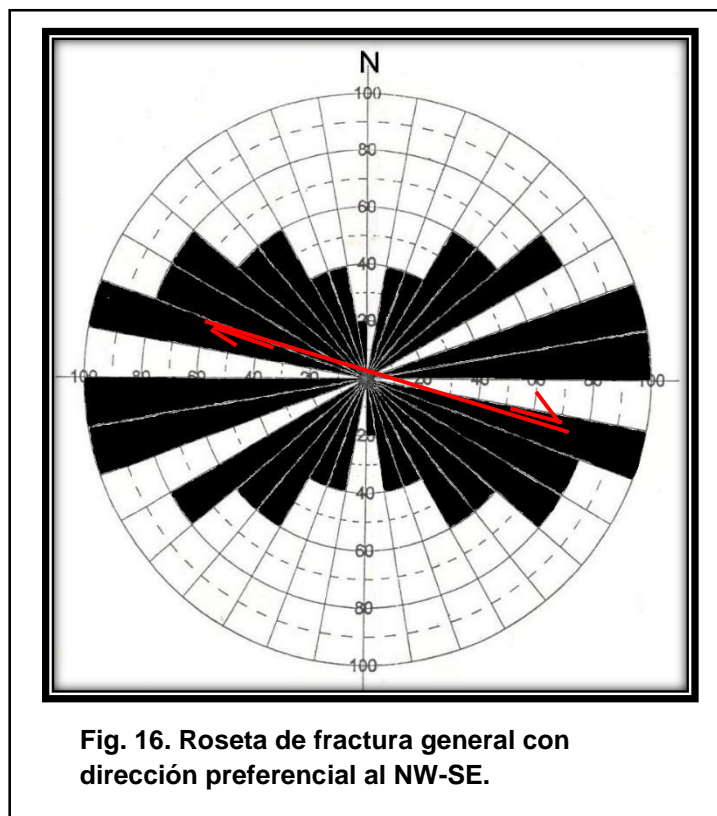
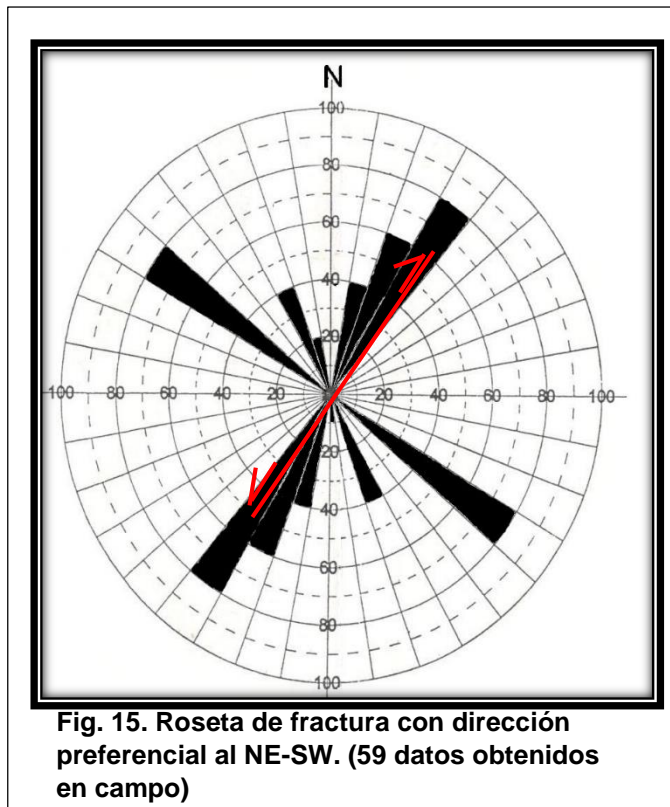


Foto. 45 Fallas las palancas con un movimiento lateral izquierdo desplazando dicha caldera, vista desde sitio San Luis coordenadas (N1414002, E533875).

- **Roseta de fractura para el fallamiento NE-SW.**

Resultado de los datos obtenido en campo Falla Monte Fresco, fallas El Ojochón, falla Pantasma, falla El Almendro, fallas Los Congos, falla El Aparejo estableciendo así el modelo en roseta de fractura, en esta fase se hizo un levantamiento de **59** datos, determinando una dirección preferencial con dirección al N 40°E. Lo que demuestra que el esfuerzo máximo es de alto grado.



5.6 ESTRUCTURAS VOLCÁNICAS CIRCULARES Y SEMICIRCULARES.

La subducción de la placa Cocos por debajo de la placa Caribe, provoca movimiento sísmico y vulcanismo dando origen a la actividad volcánica de Nicaragua y de la consecuente formación de las estructuras circulares y semicirculares (Lilljequist y Hodgson, 1983).

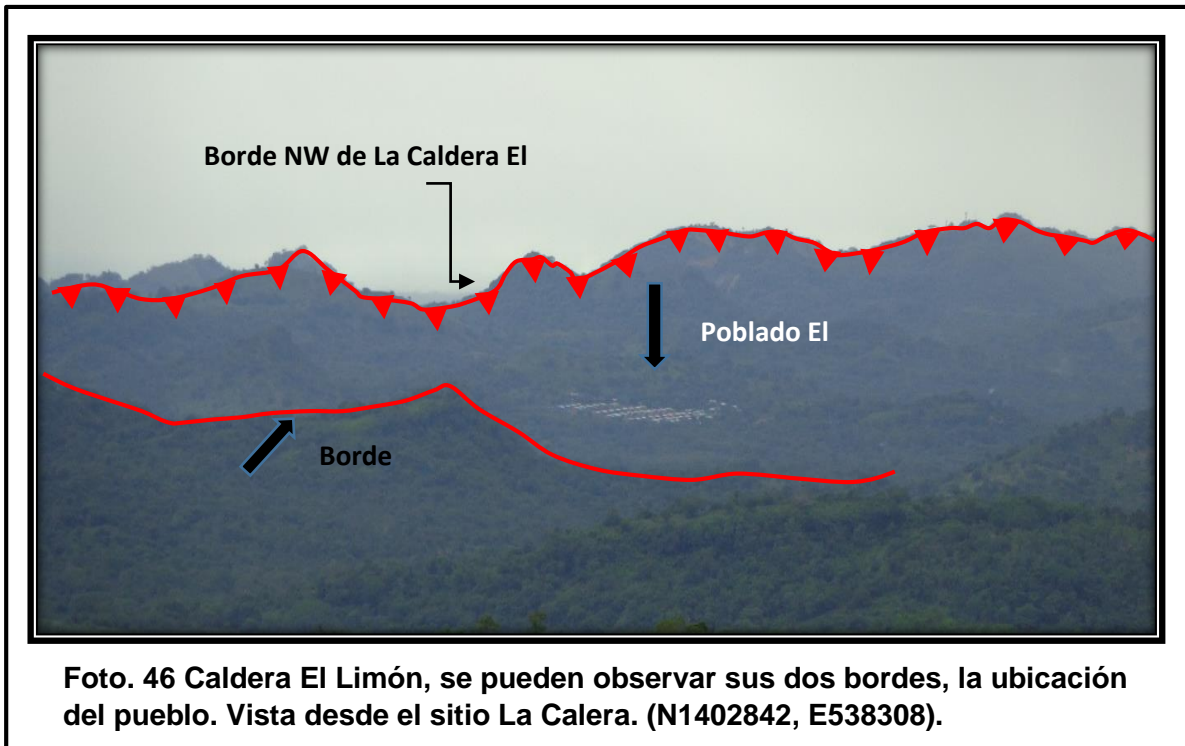
Al finalizar la formación de fallas en dirección N-S, se emplazaron en estas, grandes estructuras volcánicas antiguas, que con su intensa actividad cubrieron la parte Oeste del área de estudio con rocas de composición andesítica y dacítica; que por su evolución magmática produjeron erupciones explosivas, provocando así su hundimiento y colapso, estas corresponden a la gran estructura calderica El Limón y calderas Las Palancas.

Posteriormente, el segundo emplazamiento de estructuras volcánicas recientes se originó al finalizar la formación de fallas en dirección NW-SE, cubriendo la parte SE y NE del área de estudio puesto que esto se originó como una nueva fase de vulcanismo, siendo interrumpida por la orogénesis, (Léxico Estratigráfico Hodgson, G 2000) con rocas de composición andesítica, dacita y aglomerado, estas estructuras: El Chúcaro, La Calera, La Encantada y el borde NW de la caldera El Aguacate. Las estructuras circulares y semicirculares determinadas en el área de estudio son:

5.6.1 Caldera Mina el Limón.

Se define como una gran estructura volcánica circular, situada en la parte Oeste del área de estudio, en el Pueblo Minero El Limón. La caldera El Limón tiene un diámetro mayor aproximado de 8.5 km y está formada por las lomas Buena Vistas (N1406484, E524672), Piedra Parada, Cerro El Tague (N1407041, E533264 y lugar Las Margaritas (N1409027, E534117) (Foto 46).

La formación de esta caldera fue acompañada de coladas andesíticas incluyendo levantamiento estructural, emplazándose en escarpes de falla con dirección N-S, con presencia de actividad hidrotermal como consecuencia del calor aportado por el cuerpo magmático. Dentro de esta misma se encuentra otra estructura circular nombrada caldera Las Palancas. Y cuerpos dómicos intracaldéricos de composición andesítica.



5.6.2 Caldera las palancas.

Es una estructura volcánica circular, ubicada al Oeste del área de estudio en los alrededores del caserío Las Palancas. Caldera Las Palancas tiene un diámetro mayor aproximado de 3 km, formada por cerro Los Ñatos, El Bonete (N1409465, E529098), Lomas de Babilonia (N14111451, E531481), cerro Las palancas (N1412425, E 531648) del borde NW y cerro El Porvenir, cerro El Aparejo (N1410051, E532789) del borde NE (foto 47).

Se relaciona a rocas de composición andesítica, se encuentra deformada y segmentada por la falla El Aparejo ocasionando un movimiento lateral izquierdo. Al igual que la caldera El Limón esta se formó por la erupción de coladas andesíticas.

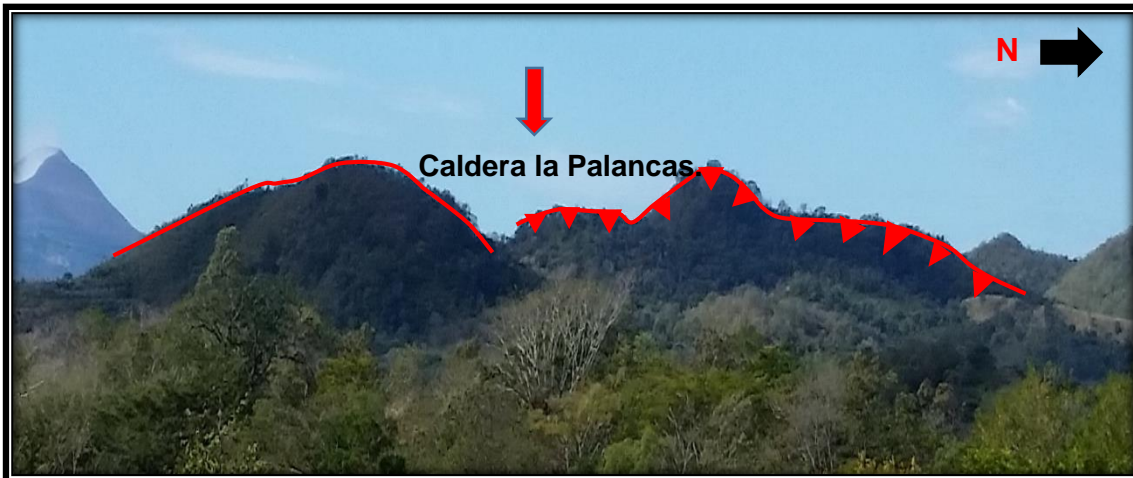


Foto 47. Caldera las Palancas formada por los Cerro los ñatos, el Bonote, Lomas de Babilonia, Cerro El Aparejo. Desplazada por la Falla El Aparejo con un movimiento lateral izquierdo coordenadas. (N1414002, E533875).

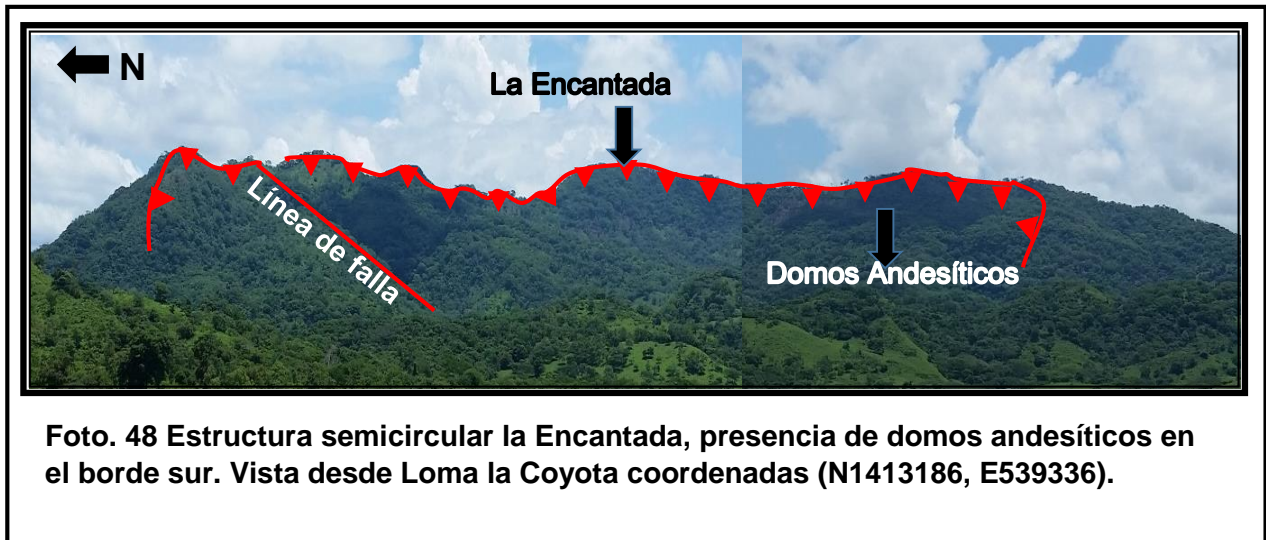
5.6.3 Caldera El Aguacate.

Es una estructura volcánica de forma semicircular, ubicada al SE del área de estudio, cerca de la comarca lomas de Portobanco (N1410820, E541844). Esta estructura semicircular tiene un diámetro mayor aproximado de 2 km y está formada por las lomas de Portobanco, está asociado a rocas de composición andesita y aglomerado. El borde SE de dicha caldera no se encuentra bien definido, puesto que se encuentra paralela a la caldera La Encantada.

5.6.4 Estructura Semicircular la Encantada.

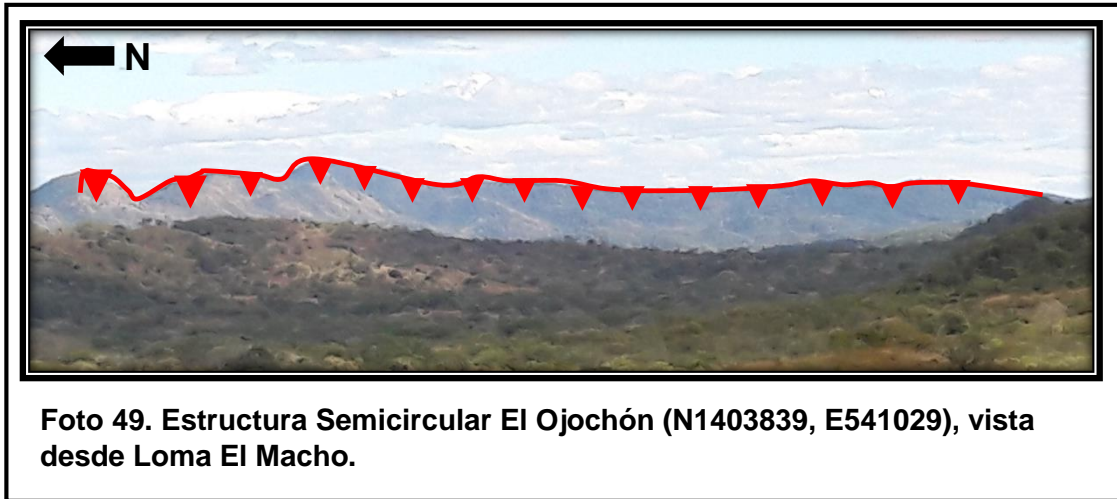
Consiste en una estructura volcánica de forma semicircular, situada al NE del área de estudio, cerca del caserío San Miguelito (N1416173, E537853). Esta estructura semicircular tiene un diámetro mayor aproximado de 4 Km, está formado por la cordillera la encantada, asociada a rocas de composición andesita y aglomerado.

La formación de esta caldera fue acompañada de explosiones piroclásticas, culminando sus eventos volcánicos con la extrusión de los domos andesíticos en el margen Sur, incluyendo levantamiento estructural en el flanco NW de la caldera (Foto 48).



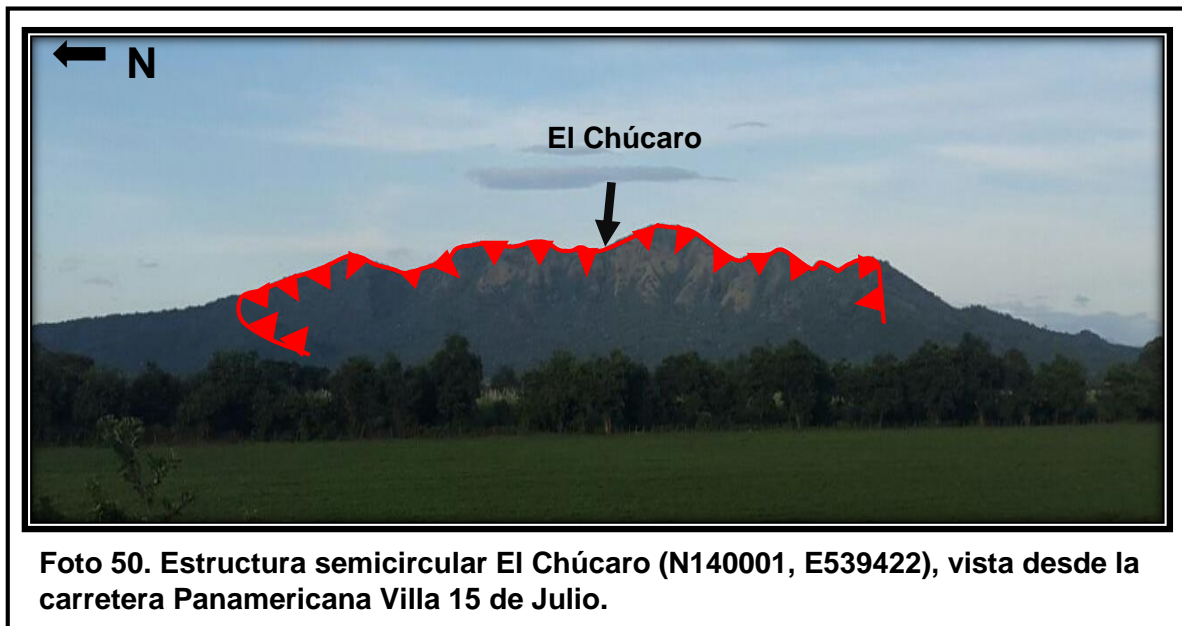
5.6.5 Estructura Semicircular El Ojochón.

Se trata de una estructura volcánica semicircular, localizada al SE del área de estudio, en la comarca La Calera. Tiene un diámetro mayor aproximado de 4 Km y está formada por los cerros Pantasma (N1407497, E539848) y cerro El Ojochón (N1403751, E540962) Se relaciona a rocas de composición dacíticas y aglomerado se encuentra segmentada en el flanco Norte, flanco Central y flanco Sur por tres fallas paralelas en dirección NE-SW. La formación de esta caldera fue acompañada de explosiones piroclásticas, culminando sus eventos volcánicos con la extrusión de los domos dacíticos (Foto 49).



5.6.6 Estructura Semicircular El Chúcaro.

Se trata de una estructura volcánica semicircular, localizada al SE del área de estudio, en la comarca El Chúcaro. Tiene un diámetro mayor aproximado de 6 Km. está formada por los cerros El Chúcaro con coordenadas (N140071, E539255) en el borde SE y (N1404181, E5348255) en el borde NW. Se relaciona a rocas de composición andesítica y aglomerado esta deformada y segmentada en el flanco NW por la falla loma las casitas (Foto 50).



CONCLUSIÓN.

De acuerdo a los objetivos planteados en nuestro trabajo investigativo y la información obtenida a través de la etapa de campo, el análisis petrográfico y la interpretación geo-estructura se establece lo siguiente:

Se reconocieron seis unidades lito-estratigráficas correspondientes a la secuencia producida por eventos volcánicos determinando en base a lo que se encontró en campo. Posteriormente el análisis petrográfico realizado en las muestras recolectadas de campo, confirmando de esta manera las seis unidades litológicas: las cuales son: unidad de Andesita correspondiente a la parte basal luego tenemos la unidad de dacitas, la unidad de basalto, la unidad de aglomerados, la unidad de piroclastos y la unidad de sedimentos aluviales.

De acuerdo a la clasificación de unidades geomorfológicas propuesta por Van Zuidam, se reconocieron cuatro unidades y cinco subunidades geomorfológicas, las cuales fueron descritas por su morfología, ambiente de formación y elevaciones correspondientes a la misma; las cuales son: Unidad de Origen Denudacional, Unidad de Origen Volcánico, Unidad de Origen Estructural, Unidad de Origen Fluvial.

Con la interpretación de mapas preliminares, imágenes de satélite y comprobación de campo, se definieron la existencia de seis estructuras circulares, nombradas de la siguiente manera: caldera El Limón, caldera Las Palancas, caldera La Encantada, borde NW de la caldera El Aguacate, caldera El Ojochón, caldera El Chúcaro.

Se establecieron tres fases de fallamientos principales con dirección N-S, NW-SE, NE-SW, esta última actuando en sentido horario.

El área de estudio está siendo afectada por tres principales tipos de alteración Hidrotermal: Alteración Propilítica, alteración Argilica y alteración silícea se encuentran afectando a rocas de composición andesita, dacita principalmente.

Dando por terminado este trabajo podemos decir que cumplimos con los objetivos propuesto para el desarrollo de dicha investigación.

RECOMENDACIONES.

Realizar un estudio geo-estructural a detalle, que contenga todos los elementos principales para realizar un modelo estructural completo.

Proponer estudios geofísicos para la confirmación de las estructuras circulares encontradas en este estudio.

Realizar un estudio petrológico, para determinar el ambiente de formación.

Elaborar un estudio completo sobre la génesis de las alteraciones que se encuentran afectando la litología del área.

Realizar un estudio volcanogenetico para determinar el origen de los depósitos volcánicos que afectan el área de estudio.

Realizar un estudio de manera local, sobre los plegamientos encontrados en la comarca la calera; para determinar su formación y relación de acuerdo a su fase de fallamiento.

BIBLIOGRAFÍA.

- Agueda, J., & Anguita, F. A. (1977). *Procesos Tectonicos. Geolgia de Madrid*. Madrid: Rueda.p 221-272.
- Barnes, H.L., (1967). *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Primera Edición, Hubert L. Barnes (editor), Holt, Rinehart and Winston Inc. Publication
- Reglamento del Régimen Académico Estudiantil. 1994.
- Frischbutter, A. (2002). *Structure of Managua Graben, Nicaragua From Remote Sensing Image, Geofisica Internacional V.4 N° 002 p. 87-102* .
- Garayar. (1971). *Geologia y Depositos de Minerales de la region de Chontales y Boaco.Catastro e inventario de los Recursos Naturales, Open File Report*. Nicaragua.
- Garcia- Palomo, A. (2002). *Vulcanismo y Geologia Estructural de la region de Apan Estado de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Mexico. tesis de Doctorado Ciencias Vulcanologia. Universidad Autonoma Mexico, Mexico D.f. Mexico*.
- Giudice., Z. B. (1958). *Geologia de la Costa del Pacifico*. Nicaragua.
- Geyne A.R. 1952 Mapa Geológico de Mina El Limón.
- Hernández Sampier, R. F. ((1996)). *Metodologia de la investigacion*. Mexico: McGRAW - HILL INTERAMERICANA DE MEXICO, S.A de C.V.
- Hodgson. (1971 a). *Geologia y anotaciones mineralogicas de la planicie Noroeste y de la precordillera Occidental. Catastro e nventario de Recursos Naturales, Archivo Accesible. informe N°13*.
- Hodgson. (2000). *Introduccion al Lexico Estratigrafico de Nicaragua*. Nicaragua.
- Hodgson (2002) *geología histórica e geología estructural tectónica simplificada de Nicaragua y América Central 2^{da} Edicion*.
- Hodgson, & Glen & C.J, F. (1972). *Geologia y Anotaciones mineralogicas de las planicies sureste del Lago de Nicaragua: Catastro e Inventario de Recursos Naturales, Archivo Accesible, Informe N° 14*.
- Hodgson, G. (1977). *inventario de los depositos de caliza y marmoles de nicaragua*. Servicio Geologico Nacional.

- Hunting, g. a. (1972). *Slide Looking Radar Survey of Nicaragua, Westinghouse Electronic Corporation. Baltimre. USA.*
- https://www.codelcoeduca.cl/.../tecnicos_exploracion_reconocimiento
 - Instituto Nacional de estadísticas y Censo, N. (23 de 08 de 2016). <https://es.wikipedia.org/wiki/Larreynaga>. Recuperado el 09 de 05 de 2017
 - J Lillio, R Oyarzun (2013) Geología Estructural aplicada a la exploración minera.
 - J Lillo & R Oyarzun (2013), plegamiento y fracturación.
 - Kuang. (1971). *Geologia de la Costa del Pacifico. Catastro e Inventario de Recusos Naturales, Open File, Report.*
 - Kuang, J. (1971). *Estudio Geologico del Pacifico de Nicaragua* . Managua Nicaragua.
 - Lillijequist, R. &.Hogdson, (1983). *desplazamientos de actividades volcanicas durante el terciario y la relacion entre paleo-arcs volcanicos y depositos minerales de Nicaragua.*
 - Lllijequist. R, (1984) Investigación de zonas de alteración hidrotermal en el Distrito El Limón.
 - March Central Sum (2009) Reporte técnico del recurso mineros en el área de Mina El Limón y la India.
 - P, A, Marcela, (2008). *Plan Municipal de Respuesta del municipio de Larreynaga.*
 - McBirney, A, (1965). *volcanic history of nicaragua*. California: Geol. Sci.V.55.
 - Nicolas A & Maimprice, (1987) Principales of Rock Deformation.
 - Sibson. (1990). *Faulting and fluid flow. in Nesbitt, B,E,. ed Shot Course on fluids in tectonically active regimes of the continental crust,Mineralogical Association of canada p.93-132. canada.*
 - Tolson, G, (1996). *Un catalogo de indicadores cinematicos en rocas cizalladoras. departamento de paleomagnetismo, GEOS, union geofisica Mexicana, 16.(1).*

- Ubieta K. (1993). *estudio de Exploracion Magnetica y Electromagnetica en el area del Sauce*.
- Unam-Managua, Normativas para las modalidades de graduación, como formas de culminación de estudios, Plan 1999.
- Mackenzie, W, S, Ph.D, F.R.S.E., 2da edición, 1992 Atlas de petrografía, Minerales formadores de rocas en láminas delgadas.
- W,S Mackenzie, C.H. Donaldson, C. Guilford, Atlas de Rocas Ígneas y sus Texturas.
- W, Griem (2015) Geología estructural virtual.
- Venable M. (1994). A Geologic, Tectonic and Metallogenic Evaluation of the Siuna Terrane.
- Van Zuijdam, R. (1986). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Smits publishers. The Hague.

ANEXOS.

Anexo 1. Clasificación Geomorfológica propuesta por Van Zuidam, 1986.

Código	Unidad	Sub-Unidad	Características Generales
D3	Origen Denudacional	Colinas Denudacionales.	Colinas escarpadas a muy escarpadas. Topografía Montañosa. Moderada a severamente disectadas.
V9	Origen Volcánico	Coladas de Lava	Topografía ondulada. Pendiente ligeramente fuerte a moderadamente fuerte. Ligeramente a moderadamente disectadas.
V14		Remanentes de Calderas	Colinas con pendientes moderadas a fuertes. Moderadamente a severamente disectadas.
S1	Origen Estructural	Topografía Ondulada	Topografía ondulada con sistemas de drenaje relacionado con los patrones de fallamiento. Ligeramente a moderadamente inclinadas. Moderadamente disectadas.
F3	Origen Fluvial	Llanuras Aluviales.	Topografía casi plana a ligeramente irregular. Inundaciones regulares a estacionales. Básicamente sujeta a la connotación por acumulación fluvial.

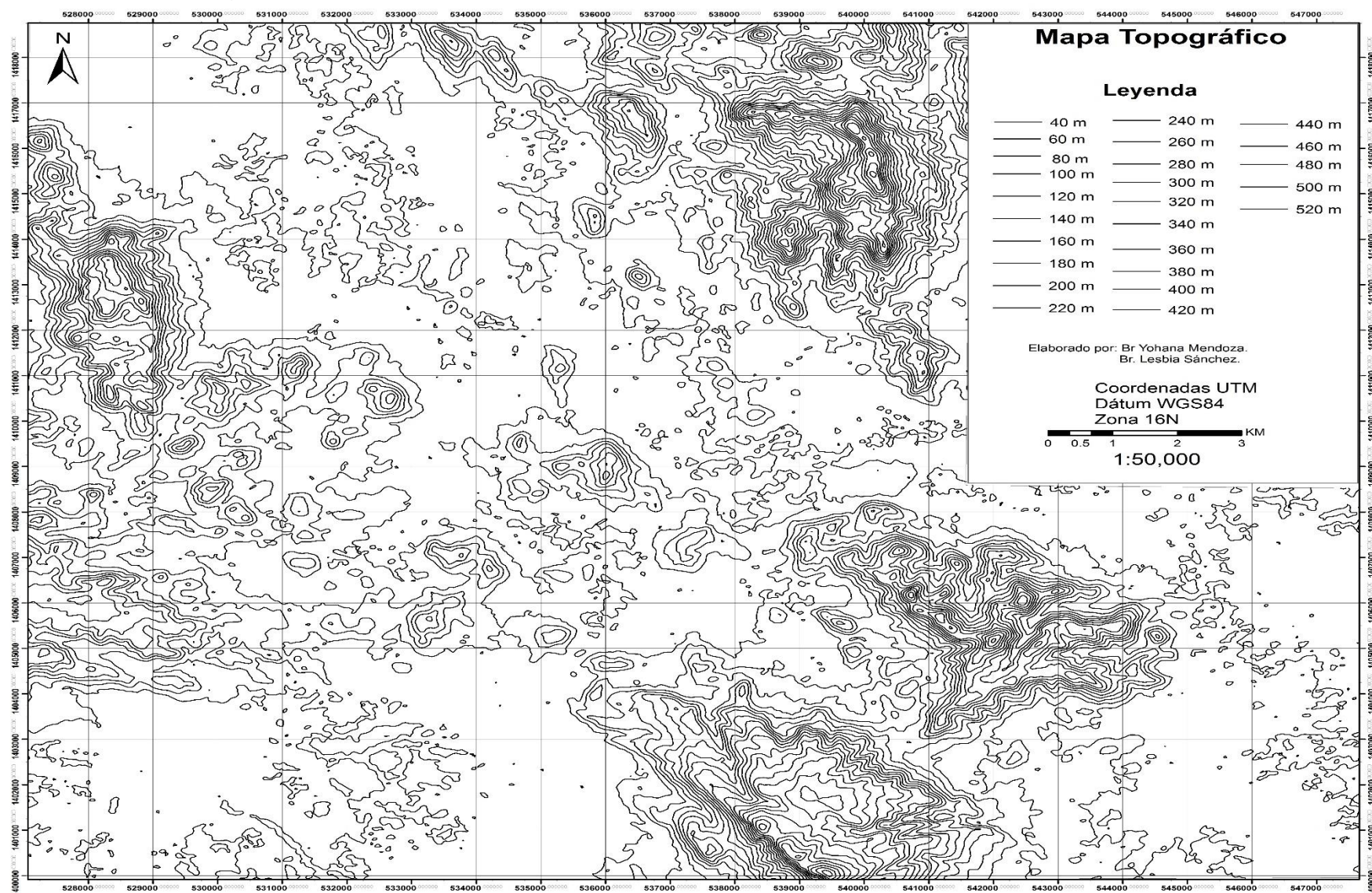
Anexo 2. Tabla de Muestreo.

Muestra: Las marillitas (N1405359, E528832)										Clasificación: Andesita.											
Minerales	% vol	Componentes				Matriz			Grado de cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y matriz	Otros	Vidrio	Cristales	Cristales y vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3mm	Microfenocristales	Microlitos	Porfiritica	Intergranular	Hipodiomorfica	Cristalovitrioclastica
Cuarzo																					
Plagioclasas	30	X	x						X			x									
Feldespato																					
Micas																					
Anfíbol	20	X	x						X			x									
Piróxeno	8	X							X			x									
Olivino																					
Minerales metálicos	2	X							X			x									
Matriz	40							X									X				
Total de la muestra	100																				

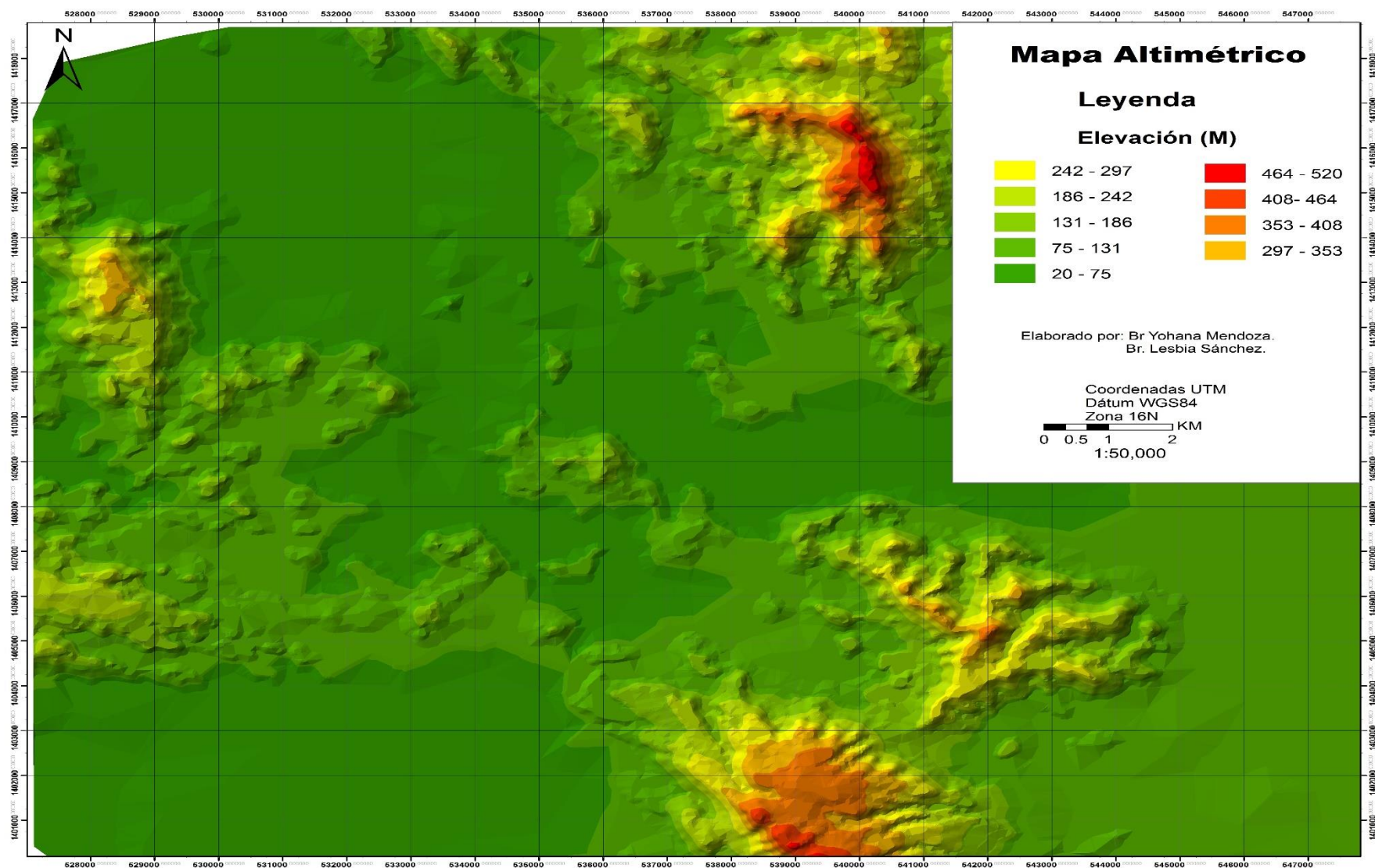
Anexo 3. Tabla de Muestreo.

Muestra: Las Mesas. Coordenadas (N1416583, E535913)											Clasificación: Basalto.											
Minerales	% vol	Componentes				Matriz		Grado de cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura					
		Cristales	Matriz	Cristales y matriz	Otros	Vidrio	Cristales	Cristales y vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3mm	Microfenocristales	Microlitos	Porfiritica	Intergranular	Hipodimorfica	Cristalovitrioclastica	
Cuarzo																						
Plagioclasas	30	X	x						X			x										
Feldespato																						
Micas																						
Anfíbol	20	X	x						X			x										
Piróxeno	8	X							X			x										
Olivino	2	X							X			x				x						
Minerales metálicos	2	X							X			x										
Matriz	38						X										x					
Total de la muestra		100																				

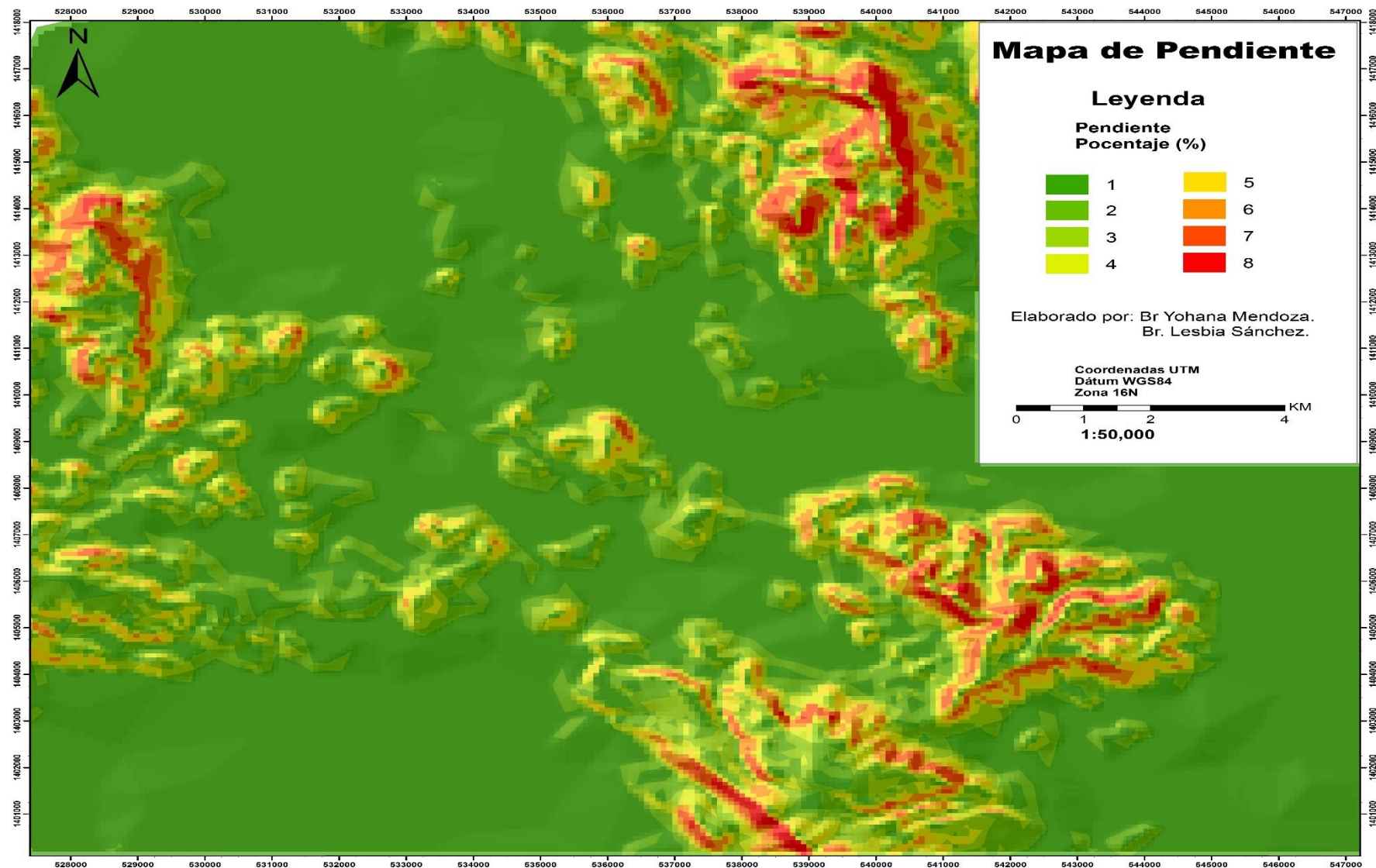
Anexo 4. Mapa Topográfico.



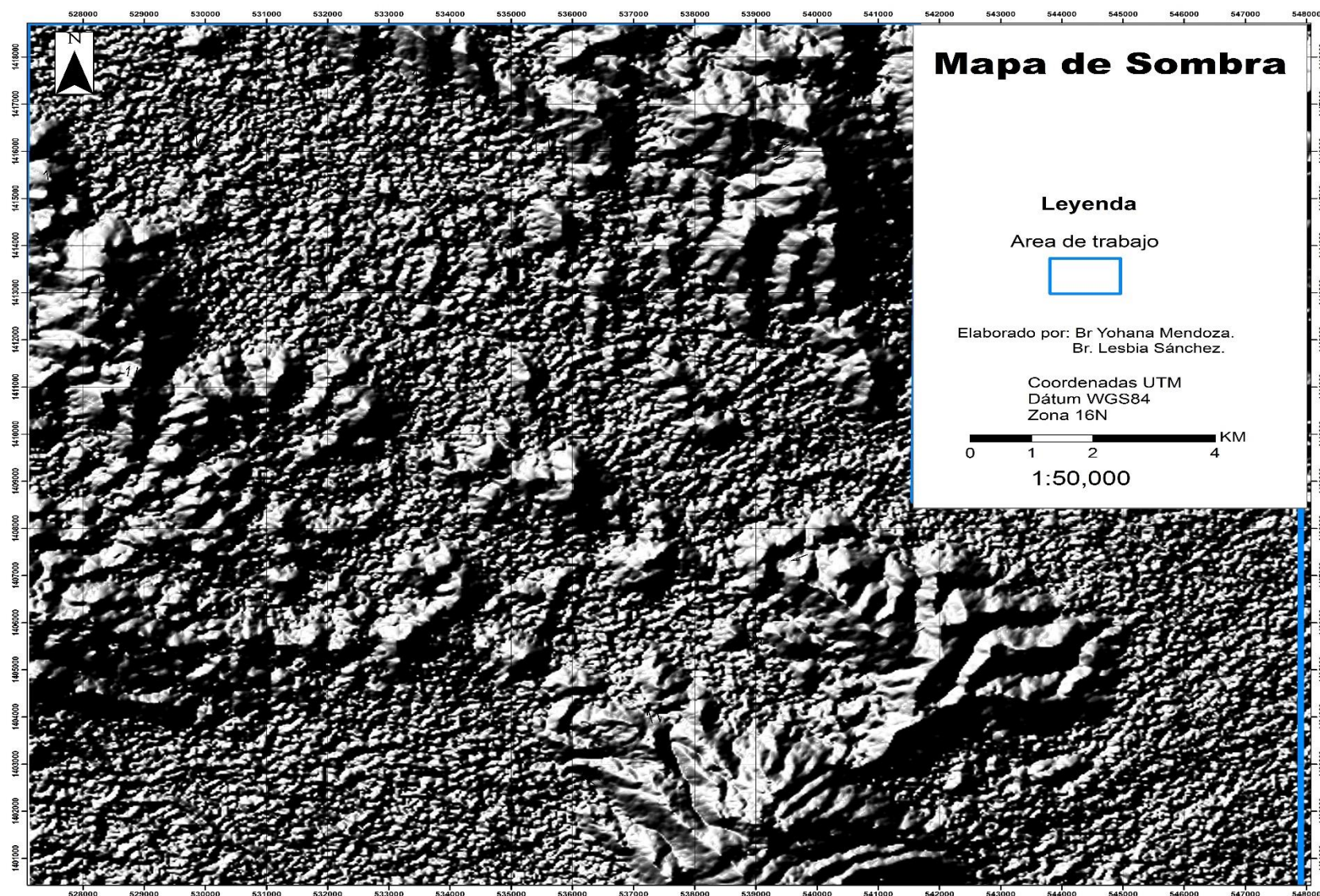
Anexo 5. Mapa de Altimétrico.



Anexo 6. Mapa de pendiente.

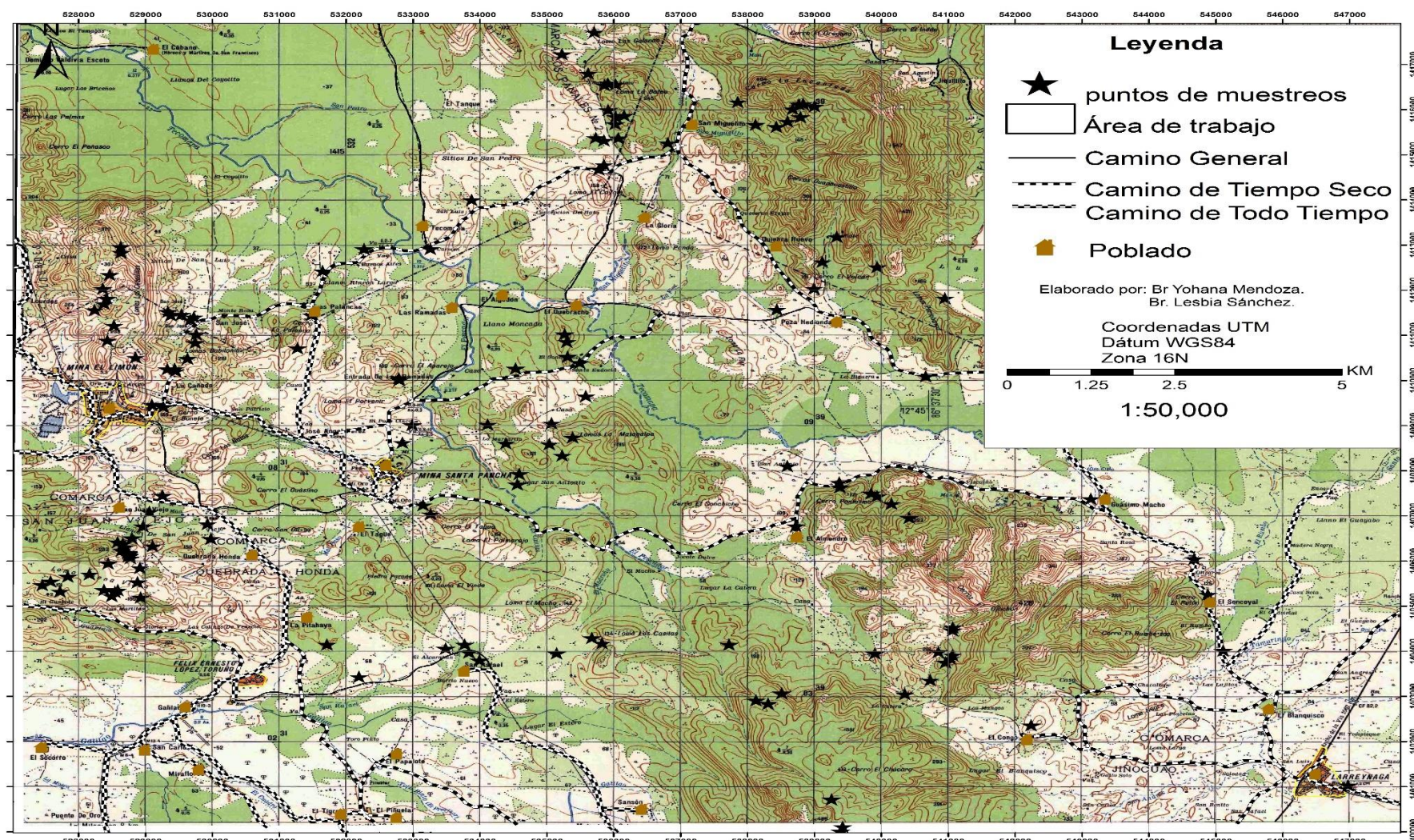


Anexo 7. Modelo de sombra.

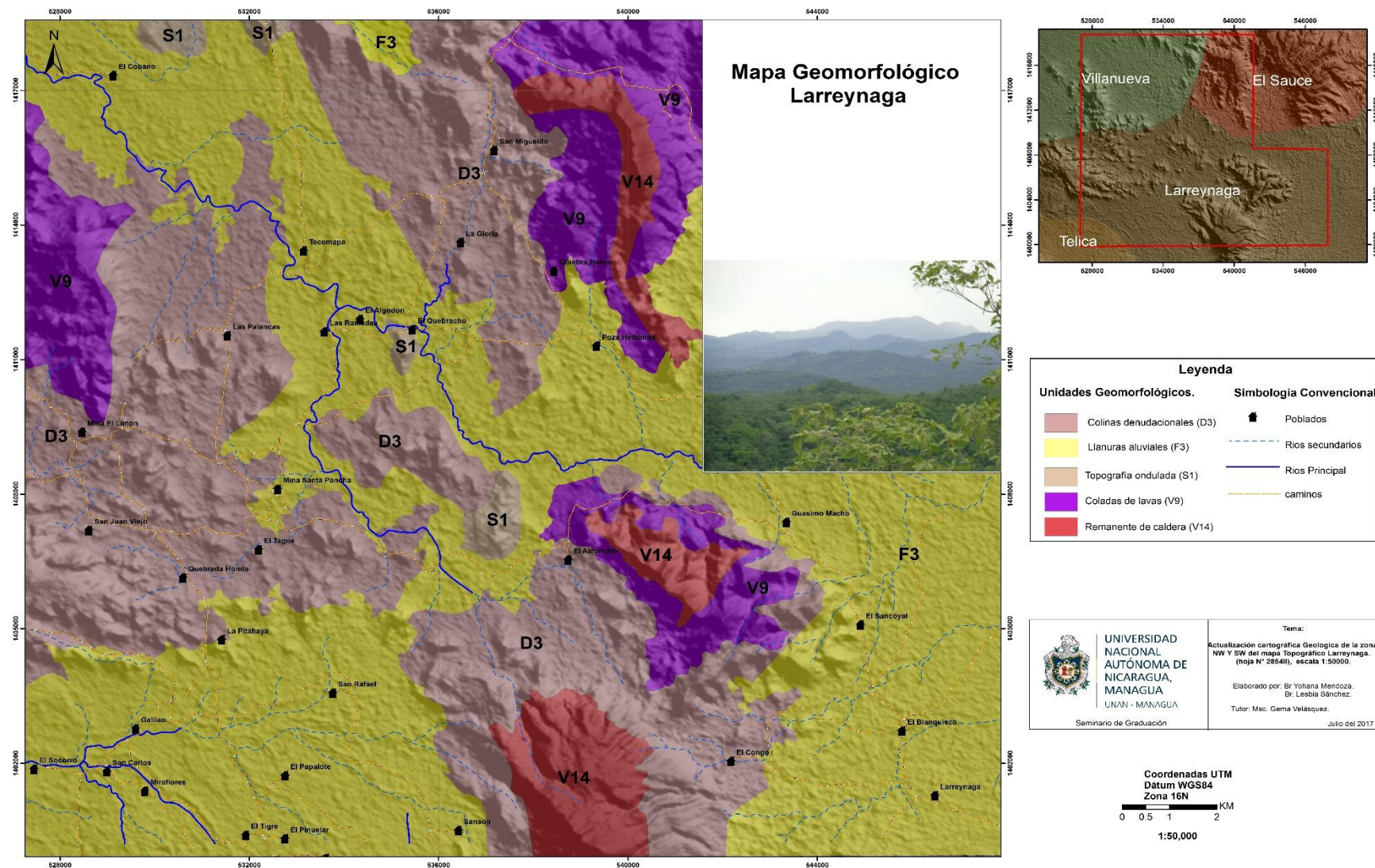


Anexo 8. Mapa de muestreo.

Mapa de puntos de muestreo.



MAPA GEOMORFOLÓGICO LARREYNAGA.



MAPA GEOLOGICO LARREYNAGA.

